



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αριθμ. Πρωτοκ. 324
Ημερομηνία 4-10-10

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



«Συγκριτική μελέτη τεσσάρων υποστρωμάτων
υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας»

Πτυχιακή Διατριβή
Κάνδηλα Άννα

Επιβλέπων Καθηγητής
Κατσούλας Νικόλαος

Βόλος, 2010



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.:	9188/1
Ημερ. Εισ.:	23-11-2010
Δωρεά:	Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός:	ΠΤ – ΦΠΑΠ
	2010
	KAN

«Συγκριτική μελέτη τεσσάρων υποστρωμάτων
υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

κ. Ν. Κατσούλας (Επιβλέπων)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Λέκτορας
Γεωργικές Κατασκευές

κ. Κ. Κίττας (Μέλος)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καθηγητής
Γεωργικές Κατασκευές

κ. Σπ. Φουντάς (Μέλος)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Επίκουρος Καθηγητής
Γεωργική Μηχανική

Ευχαριστίες

Εκφράζω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου, στον Λέκτορα του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κ. Κατσούλα Νικόλαο που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με αυτό το θέμα, καθώς και για την ηθική υποστήριξη και κυρίως τη πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε στην αρτιότερη οργάνωση του πειράματος, τη συνεχή επιστημονική καθοδήγηση και τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κίττα Κωνσταντίνο Καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών καθώς και τον κ. Φουντά Σπύρο Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανικής του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την συμμετοχή τους στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή και τη διόρθωση αυτής της πτυχιακής.

Τέλος, αλλά όχι λιγότερο, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όλους εκείνους που βρίσκονταν κοντά μου κατά τη διάρκεια διεξαγωγής αυτής της διατριβής, για την ηθική υποστήριξη και τη συμπαράστασή τους.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1^ο. Γενική Εισαγωγή	7
1.1. Τα θερμοκήπια στην Ελλάδα	7
1.2 Υδροπονία	8
1.2.1. Γενικά για την υδροπονία	8
1.2.2. Ιστορική αναδρομή	9
1.2.3. Πλεονεκτήματα της υδροπονικής καλλιέργειας	9
1.2.4. Μειονεκτήματα της υδροπονικής καλλιέργειας	10
1.2.5. Τα υδροπονικά συστήματα	11
1.2.6. Υποστρώματα	11
1.2.7. Δοχεία υποστρωμάτων	13
1.2.8. Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος	14
1.3. Προβλήματα-προβληματισμοί σχετικά με τα υποστρώματα	15
1.4. Σκοπός της εργασίας	18
Κεφάλαιο 2^ο. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	19
2.1. Επίδραση υποστρωμάτων στον αριθμό καρπών	19
2.2. Επίδραση υποστρωμάτων στη παραγωγή	19
2.3. Επίδραση υποστρωμάτων στη ποιότητα	21
2.4. Επίδραση υποστρωμάτων στη κατανάλωση θρεπτικού διαλύματος και νερού	22
2.5. Επίδραση υποστρωμάτων στην αύξηση φυτών	23
2.6. Επίδραση υποστρωμάτων στο βάρος των καρπών	23
2.7. Επίδραση υποστρωμάτων στο ξηρό βάρος φυτού	23
2.8. Επίδραση υποστρωμάτων στη συντήρηση καρπών	24
2.9. Επίδραση υποστρωμάτων στις συγκεντρώσεις θρεπτικών	24
2.10. Επίδραση υποστρωμάτων στη ξηρά ουσία	24
2.11. Επίδραση υποστρωμάτων στο pH	24
2.12. Επίδραση υποστρωμάτων στη περιεκτικότητα σε L-ασκορβικό οξύ	24
2.13. Επίδραση υποστρωμάτων στη συνολική οξύτητα	25
2.14. Επίδραση υποστρωμάτων στη διάμετρο καρπών	25
2.15. Επίδραση υποστρωμάτων στη περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά	25
2.16. Μελέτες υποστρωμάτων	25
2.17. Το φυτό της τομάτας	27
2.17.1. Καταγωγή	27
2.17.2. Περιγραφή του φυτού	28
2.17.3. Η σημασία της τομάτας για τον άνθρωπο	30
2.17.4. Οι αποδόσεις της τομάτας	31
2.17.5. Παράγοντες αύξησης και ανάπτυξης των φυτών τομάτας	31
2.17.5.1. Παράμετροι μικροκλίματος του θερμοκηπίου	32
2.17.5.2. Λοιποί παράγοντες	33
Κεφάλαιο 3^ο. Υλικά και μέθοδοι	34
3.1. Τοποθεσία του πειράματος	34
3.2. Περιγραφή θερμοκηπίου	34
3.3. Αερισμός	35
3.4. Θέρμανση	35
3.5. Περιγραφή της καλλιέργειας	36
3.5.1. Εγκατάσταση της καλλιέργειας	36
3.5.2. Διάταξη φυτών	36
3.5.3. Επιλογή φυτών – Υποστρώματα	37
3.5.4. Καλλιεργητικές επεμβάσεις	41

3.5.5 Άρδευση – Λίπανση	41
3.6. Περιγραφή μετρήσεων – μεταχειρίσεων	42
3.6.1. Κλιματικές Μετρήσεις	43
3.6.1.1. Μετρήσεις εξωτερικού περιβάλλοντος.....	43
3.6.1.2. Μετρήσεις εσωτερικού περιβάλλοντος	43
3.6.2. Βιολογικές Μετρήσεις	44
3.6.2.1. Μετρήσεις αύξησης και ανάπτυξης.....	44
3.6.2.2. Τρόποι υπολογισμού των παραμέτρων αύξησης και ανάπτυξης	44
3.6.2.3. Μετρήσεις απόδοσης	46
3.7. Περιγραφή της επεξεργασίας.....	46
Κεφάλαιο 4^ο. Αποτελέσματα	47
4.1. Μικροκλίμα θερμοκηπίου	47
4.2. Μετρήσεις υγρασίας των υποστρωμάτων	52
4.3. Μετρήσεις ανάπτυξης των φυτών τομάτας	54
4.3.1. Ύψος φυτών τομάτας	54
4.3.2. Συνολικός αριθμός φύλλων	54
4.3.3. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας.....	56
4.3.4. Αριθμός ταξιανθιών.....	56
4.3.5. Άθροισμα ανθέων ανά φυτό	58
4.3.6. Αριθμός κόμβων.....	58
4.3.7. Μήκος μεσογονάτιων διαστημάτων	60
4.3.8. Άθροισμα καρπών ανά φυτό.....	60
4.4. Μετρήσεις απόδοσης.....	61
4.4.1. Μέση παραγωγή ανά φυτό.....	61
4.4.2. Αριθμός καρπών/m ²	62
Κεφάλαιο 5^ο. Συζήτηση - Συμπεράσματα	64
5.1. Επίδραση των υποστρωμάτων στην διαθεσιμότητα του νερού.....	64
5.2. Επίδραση των υποστρωμάτων στην ανάπτυξη και την απόδοση φυτών τομάτας.....	66
Βιβλιογραφία.....	68

Περίληψη

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες στην Ελλάδα βρίσκονται σε συνεχή ανάπτυξη. Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερα θερμοκήπια επιλέγουν τη χρησιμοποίηση υδροπονικών συστημάτων που οδηγούν στην εξασφάλιση υψηλών στρεμματικών αποδόσεων και στη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων.

Η επιλογή του κατάλληλου υποστρώματος στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι πολύ σημαντική, εφόσον το πορώδες υπόστρωμα επηρεάζει άμεσα το περιβάλλον της ρίζας και αποτελεί το μέσο στο οποίο στηρίζεται και αναπτύσσεται το φυτό.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η συγκριτική μελέτη υποστρωμάτων στην ανάπτυξη και στη παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Κατά την πειραματική διαδικασία, εγκαταστάθηκαν σε θερμοκήπιο του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, φυτά τομάτας, ποικιλίας Lorelay σε τέσσερα διαφορετικά υποστρώματα. Τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο περλίτης, η ελαφρόπετρα και δύο τύποι πετροβάμβακα (Master και Expert).

Οι μετρήσεις που έγιναν αφορούσαν το ύψος του φυτού, τον αριθμό των ταξιανθιών, τον αριθμό των φύλλων και των κόμβων, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας και τον αριθμό των καρπών ανά φυτό.

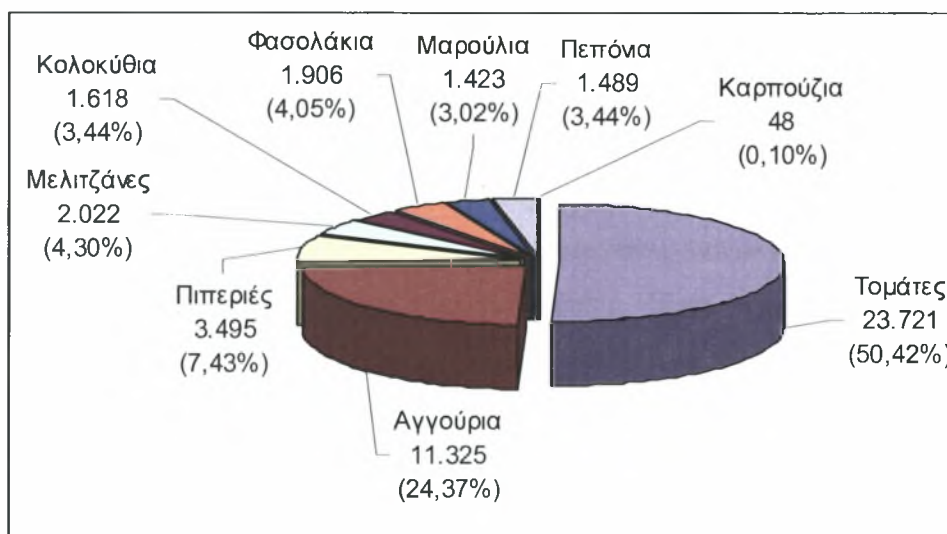
Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα υποστρώματα δεν είχαν σημαντική επίδραση στο ύψος των φυτών, στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας και στη παραγωγή των φυτών, αλλά είχαν σημαντική επίδραση στον αριθμό των φύλλων, των κόμβων και των ταξιανθιών, ο οποίος ήταν μεγαλύτερος στον πετροβάμβακα τύπου Master.

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τα θερμοκήπια στην Ελλάδα

Θερμοκήπιο είναι μια κατασκευή, η οποία καλύπτεται με διαφανές υλικό, ώστε να είναι δυνατή η είσοδος όσο το δυνατόν περισσότερου φυσικού φωτισμού. Σκοπός της χρησιμοποίησης θερμοκηπίων στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων είναι η ρύθμιση πολλών από τους παράγοντες του περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανάπτυξη και την παραγωγή των φυτών.

Στη χώρα μας η εξάπλωση των θερμοκηπίων ξεκίνησε το 1961 και αργότερα δημιουργήθηκαν βιομηχανίες κατασκευής θερμοκηπίων οι οποίες βελτίωσαν σημαντικά τις κατασκευές. Έτσι παρατηρήθηκε σημαντική ανάπτυξη των θερμοκηπίων τα οποία έφθασαν τα 48.604 στρέμματα το 2007. Από αυτά στα 44.731 στρέμματα καλλιεργούνται λαχανικά. (ΕΣΥΕ 2010). Τα σημαντικότερα λαχανικά τα οποία καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής έκτασης θερμοκηπίων στην Ελλάδα είναι η τομάτα και το αγγούρι. (Μαυρογιαννόπουλος 2005). Οι εκτάσεις σε στρέμματα για τα κηπευτικά που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια φαίνονται στο Σχήμα 1.1. (Ολύμπιος 2001).



Σχήμα 1.1. Συνολική έκταση κηπευτικών που καλλιεργήθηκαν σε θερμοκήπια κατά την καλλιεργητική περίοδο 1997-1998.

Την τελευταία εικοσαετία υπάρχει αύξηση των στρεμματικών αποδόσεων στην Ελλάδα. Από τα δεδομένα του Υπουργείου Γεωργίας συνάγεται ότι η αύξηση των

μέσων στρεμματικών αποδόσεων προέρχεται από τη χρησιμοποίηση βελτιωμένων θερμοκηπίων. Σύγχρονες τεχνολογίες και μέθοδοι καλλιέργειας στα θερμοκήπια επιτρέπουν την αύξηση της παραγωγής και της ποιότητας και μείωση του κόστους. Μια από τεχνικές βελτίωσης των αποδόσεων είναι και οι υδροπονικές καλλιέργειες. Έτσι στην Ολλανδία όπου είναι γενικευμένος ο υδροπονικός τρόπος καλλιέργειας η ετήσια στρεμματική απόδοση της τομάτας υπερβαίνει τους 60 τόνους ενώ στην Ελλάδα με την συμβατική μέθοδο καλλιέργειας θεωρείται επιτυχημένη η απόδοση των 20 τόνων. (Μαυρογιαννόπουλος 2005).

1.2. Υδροπονία

1.2.1. Γενικά για την υδροπονία

Ως υδροπονία ορίζεται η τεχνική κατά την οποία τα φυτά αναπτύσσονται σε θρεπτικά διαλύματα, με ή χωρίς την χρήση κάποιου υποστρώματος (π.χ. βερμικουλίτη, πετροβάμβακα, κ.α.). Στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται υποστρώματα, αυτά παρέχουν μηχανική υποστήριξη στα φυτά, ενώ υπάρχουν και καλλιέργειες χωρίς υποστρώματα όπου οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται πάνω στο θρεπτικό διάλυμα χωρίς να υπάρχει κανένα άλλο μέσο στήριξης (SAT, NFT, AFT κ.α.).

Τα τελευταία χρόνια σημειώνεται παγκοσμίως αλματώδης αύξηση των υδροπονικών καλλιεργειών τόσο στα ανθοκομικά όσο και στα λαχανοκομικά είδη. Αυτή η τάση επιταχύνεται τόσο λόγω της απαγόρευσης χρήσης του βρωμιούχου μεθυλίου για απολύμανση του εδάφους (Van Os 2000) όσο και λόγω των μεγαλύτερων αποδόσεων που επιτυγχάνονται. Ουσιαστικά στις εύκρατες περιοχές όλα τα υδροπονικά συστήματα βρίσκονται μέσα σε θερμοκήπια. Έτσι η υδροπονία, μαζί με τον αυτοματοποιημένο έλεγχο του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου συνιστούν δύο τεχνολογίες αιχμής στον τομέα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Οι μέθοδοι αυτοί είναι μονόδρομος για την εξασφάλιση υψηλών στρεμματικών αποδόσεων, μείωσης του κόστους, ανταγωνιστικού προϊόντος υψηλής και κυρίως σταθερής ποιότητας, με τρόπο φιλικό για το περιβάλλον. Η εφαρμογή της υδροπονίας στην ελληνική πράξη αναπτύσσεται με σχετικά βραδείς ρυθμούς και για την διάδοσή της είναι απαραίτητα η διάχυση της τεχνογνωσίας, η ενημέρωση των παραγωγών για τα πλεονεκτήματα της καθώς και η ανάπτυξη οργανωμένης τεχνικής υποστήριξης, η οποία εκλείπει. (www.agrek.gr και www.aua.gr)

1.2.2. Ιστορική αναδρομή

Η ανάπτυξη φυτών σε νερό εμπλουτισμένο με θρεπτικά στοιχεία εφαρμόζεται εδώ και αιώνες. Ιστορικοί ανακάλυψαν Αιγυπτιακά ιερογλυφικά που χρονολογούνται αρκετές χιλιάδες χρόνια πίσω π.Χ. να απεικονίζουν την καλλιέργεια φυτών σε νερό. Οι Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας και οι Πλωτοί Κήποι των Αζτέκων στο Μεξικό αποτελούν παραδείγματα πρώιμης υδροπονικής καλλιέργειας. Η υδροπονία ξεκίνησε ως εργαλείο για ακαδημαϊκή έρευνα σε μια προσπάθεια να αναγνωριστούν τα απαραίτητα για τα φυτά θρεπτικά συστατικά. Ο όρος υδροπονία χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από τον Gericke το 1936 για να περιγράψει την καλλιέργεια φυτών σε υγρό μέσο. (Keith 2003). Το 1923 από εργασίες των Bakke και Erdman αποδείχθηκε ότι η ανάπτυξη των φυτών με υδροπονική μέθοδο ήταν πολύ καλύτερη από αυτή του εδάφους. Το 1950 αναπτύχθηκε από τον Steiner η τεχνική καλλιέργειας σε φιλμ θρεπτικού διαλύματος (NFT) που από το 1966 γνώρισε μεγάλη εξάπλωση στη Μ. Βρετανία. Το 1976 αναπτύχθηκε η τεχνική της καλλιέργειας με υλικό τον ορυκτοβάμβακα στη Δανία, που αποτελεί σήμερα την περισσότερη χρησιμοποιούμενη εμπορική μέθοδο στη Β. Ευρώπη. Τέλος σήμερα σε όλο τον κόσμο έχουν αναπτυχθεί πάρα πολλές μέθοδοι υδροπονικής καλλιέργειας. (Μαυρογιαννόπουλος 2006).

1.2.3. Πλεονεκτήματα της υδροπονικής καλλιέργειας

Η υδροπονική καλλιέργεια φυτών παρουσιάζει πληθώρα πλεονεκτημάτων.

- 1) Παρέχει την δυνατότητα να καλλιεργηθούν φυτά σε περιοχές όπου τα εδάφη τους δεν είναι κατάλληλα για καλλιέργεια, λόγω κακής ποιότητας του εδάφους (πολύ συνεκτικά ή αλατούχα κ.λπ.), ή σε περιοχές με σοβαρές εδαφογενείς ασθένειες.
- 2) Τα φυτά απαλλάσσονται από τις ασθένειες εδάφους και επιπλέον δεν υφίσταται η ανάγκη για απολύμανση, το κόστος της οποίας είναι σημαντικό.
- 3) Δεν υφίσταται η ανάγκη για καταπολέμηση ζιζανίων και διαφόρων άλλων παρασίτων κάτι που συμβάλλει στη μείωση του κόστους παραγωγής.
- 4) Συμβάλλει στην απλοποίηση του προγράμματος των διαφόρων εργασιών και στον περιορισμό των χειρωνακτικών εργασιών που απαιτούνται κατά την

καλλιέργεια, όπως η άρδευση, η καλλιέργεια του εδάφους, κ.α., καθώς αυτές μειώνονται σε σημαντικό βαθμό.

- 5) Δύναται να επιτευχθούν μεγαλύτερες αποδόσεις και βελτιώνεται η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.
- 6) Η καλλιέργεια των φυτών πραγματοποιείται σε ένα περισσότερο ελεγχόμενο περιβάλλον (π.χ. ελέγχεται το περιβάλλον της ρίζας, ο χρόνος άρδευσης και λίπανσης κλπ.). Ειδικά όταν η καλλιέργεια λαμβάνει χώρα σε θερμοκήπιο ελέγχονται επιπλέον ο φωτισμός, η θερμοκρασία, η υγρασία και η σύσταση του αέρα.
- 7) Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση νερού και θρεπτικών στοιχείων, γιατί περιορίζονται οι απώλειες από επιφανειακές διαρροές και βαθιά διείσδυση του νερού στο έδαφος.
- 8) Αποφεύγεται η ρύπανση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα από τα υπολείμματα λιπασμάτων, ιδιαίτερα στα κλειστά συστήματα.
- 9) Η θρέψη των φυτών είναι ακριβής και τα θρεπτικά συστατικά βρίσκονται σε εύκολα προσλήψιμες για τα φυτά μορφές. (Benton Jones 2005, Keith 2003 και Μαυρογιαννόπουλος 2006).

1.2.4. Μειονεκτήματα της υδροπονικής καλλιέργειας

Κατά την εφαρμογή της όμως η υδροπονία παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα.

- 1) Το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι υψηλό και επιπλέον απαιτούνται αυξημένες τεχνικές ικανότητες για την εγκατάσταση.
- 2) Απαιτείται προηγμένη τεχνολογία.
- 3) Αν τα φυτά προσβληθούν από κάποια ασθένεια των ριζών ή νηματώδεις τότε η εξάπλωση πραγματοποιείται γρήγορα ιδίως στα κλειστά συστήματα.
- 4) Είναι σχετικά ευαίσθητα συστήματα, χωρίς μεγάλες ανοχές λαθών.
- 5) Για ένα καλό αποτέλεσμα απαιτούνται περισσότερες από τις συνήθεις γνώσεις του καλλιεργητή.
- 6) Η προσαρμογή για κάποιες ποικιλίες φυτών στις συνθήκες της υδροπονίας απαιτούν έρευνα.
- 7) Τα φυτά αντιδρούν γρήγορα όταν υπάρχει διακύμανση στη θρέψη, συνεπώς ο παραγωγός θα πρέπει να παρακολουθεί τα φυτά κάθε μέρα και επιπλέον θα πρέπει να ελέγχεται ανά τακτικά χρονικά διαστήματα η σύνθεση του

θρεπτικού διαλύματος. (Savvas & Passam 2002, Benton Jones 2005, και Μαυρογιαννόπουλος 2006).

1.2.5. Τα υδροπονικά συστήματα

Τα υδροπονικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε κλειστά και ανοικτά. Στα κλειστά συστήματα το θρεπτικό διάλυμα οδηγείται με το σύστημα άρδευσης στα φυτά και αυτό που στραγγίζει από το περιβάλλον της ρίζας τους οδηγείται πίσω στη δεξαμενή, διορθώνεται και επαναχρησιμοποιείται. Στα ανοικτά συστήματα το θρεπτικό διάλυμα που στραγγίζει μετά την τροφοδοσία των φυτών απορρίπτεται. (Benton Jones 2005). Συγκριτικές μελέτες σε ανοιχτά και κλειστά υδροπονικά συστήματα, έδειξαν ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους όσον αφορά την παραγωγή και την ποιότητα. (Savvas & Passam 2002). Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στη χώρα μας αλλά και στις περισσότερες περιπτώσεις είναι τα ανοιχτά. (Lieth 1996).

1.2.6. Υποστρώματα

Η πρακτική σημασία των υποστρωμάτων αφορά αφενός την στήριξη του φυτού και αφετέρου την συγκράτηση θρεπτικών στοιχείων που προέρχονται από το θρεπτικό διάλυμα, το οποίο περιοδικά διαβρέχει το υλικό του υποστρώματος. (Κίττας 2002). Η επιλογή του είδους του υποστρώματος που θα χρησιμοποιηθεί, διαδραματίζει σημαντικό στην όλη διαμόρφωση της υδροπονικής μονάδας αλλά επηρεάζει σημαντικά και όλες τις άλλες παραμέτρους που συμμετέχουν στην οργάνωσή της. Κριτήρια για την επιλογή ενός υποστρώματος είναι :

- Η δυνατότητα εξεύρεσης του υλικού στις αναγκαίες ποσότητες
- Το υλικό να μην παρουσιάζει τοξικές επιδράσεις στο υπό καλλιέργεια φυτό
- Το κόστος του υλικού να είναι σε χαμηλά επίπεδα
- Να μην υπάρχουν τοξικές ή επικίνδυνες ουσίες για την ανθρώπινη υγεία
- Να παρουσιάζει σταθερότητα στη δομή του για όλη την καλλιεργητική περίοδο
- Η ευκολία στη χρήση του και η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του

- Το υλικό να είναι σχετικά αδρανές από πλευρά θρεπτικών στοιχείων ή οι συγκεντρώσεις να είναι τέτοιες που να μην επηρεάζουν το θρεπτικό ισοζύγιο του φυτού. (Αλεξάνδρου 1999).

Εκτός των παραπάνω ένα υπόστρωμα πρέπει να παρουσιάζει και άλλες ιδιότητες, για την σωστή ανάπτυξη των φυτών. Έτσι πρέπει :

- Να επιτρέπει καλή κατανομή νερού-αέρα και την ομαλή κυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος
- Να έχει σταθερή τιμή pH και να είναι ασυμπίεστο
- Να χαρακτηρίζεται από μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού και από μηδενική ή ελάχιστη εναλλακτική ικανότητα
- Να είναι απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς
- Να μην πληγώνει τις ρίζες των φυτών. (Κίττας 2002).

Ως υποστρώματα στις υδροπονικές καλλιέργειες χρησιμοποιούνται συνήθως ο περλίτης, ο πετροβάμβακας, ο βερμικουλίτης, η ελαφρόπετρα, η άμμος και μικρής διαμέτρου χαλίκια όσον αφορά τα αδρανή υλικά αλλά και διάφορες κομπόστες οργανικής προέλευσης (Coconut, peatmoss κ.α.). Παρακάτω αναφέρονται μερικά από τα πιο διαδεδομένα υποστρώματα ενώ αναφορά των ιδιοτήτων τους γίνεται παρακάτω. (Αλεξάνδρου 1999).

Περλίτης

Ο περλίτης είναι ορυκτό, αργιλοπυριτικό, ηφαιστειογενούς προέλευσης. Οι κόκκοι του ορυκτού θερμαίνονται στους 1000 °C όπου και διογκώνονται. Στην υδροπονία χρησιμοποιούνται διογκωμένοι κόκκοι διαμέτρου 1,5 - 3 mm.

Ελαφρόπετρα

Η ελαφρόπετρα είναι ηφαιστειογενές υλικό που παράγεται στην χώρα μας. Η κοκκομετρική ποικιλία που κυκλοφορεί στην αγορά είναι : 0-5 mm, 0-8 mm, 5-8 mm και 8-16 mm.

Πετροβάμβακας

Ο πετροβάμβακας ή αλλιώς ορυκτοβάμβακας είναι διογκωμένο ανόργανο υλικό. Οι πρώτες ύλες από τις οποίες παράγεται (βαλσάτης, ασβεστόλιθος, γαιάνθρακας, σε αναλογία 4:1:1) θερμαίνονται σε υψηλή θερμοκρασία (1500 - 1600 °C), λιώνουν και εξωθούνται σε καλούπι ώστε να διαμορφωθούν σε ίνες.

Ίνες καρύδας

Είναι οργανικό υλικό, υποπροϊόν των καρπών καρύδας. Πριν προωθηθεί στο εμπόριο πλένεται, ζυμώνεται για ορισμένο χρονικό διάστημα και αφυδατώνεται.

Τύρφη

Η τύρφη είναι οργανικό υλικό που αποτελείται από μερικώς αποδομημένα υπολλείματα φυτών. Υπάρχουν διάφορα είδη τύρφης (ξανθή, μαύρη κ.λπ.). (Κίττας 2002 και Μαυρογιαννόπουλος 2006).

1.2.7. Δοχεία υποστρώματων

Ανάλογα με την επιλογή του υποστρώματος πρέπει να δημιουργούνται και κατάλληλες υποδομές τοποθέτησης του υποστρώματος, ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερότητα στο ριζικό σύστημα, η σωστή στράγγιση και ο αερισμός. Για τον σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα υλικά προερχόμενα κυρίως από πλαστικές ύλες (γλάστρες, σάκοι κ.α.).

Τα πιο διαδεδομένα μέσα τοποθέτησης υποστρώματων είναι οι γλάστρες και οι σάκοι. Τόσο τα δοχεία όσο και οι σάκοι μπορούν να τοποθετηθούν πάνω σε πάγκους. Οι σάκοι μπορούν να τοποθετηθούν και σε πλάκες πολυστερίνης. Τα δοχεία μπορούν να στηρίζονται από κατακόρυφα στηρίγματα που καρφώνονται στο έδαφος και να συγκρατούνται στη θέση τους με μεταλλικές βέργες, που τοποθετούνται στις δύο πλευρές τους. Η βάση τους σε αυτή την περίπτωση κάθεται πάνω σε πλάκα πολυστερίνης ή σε πολυστερίνη που τοποθετείται πάνω στο πλαστικό φύλλο που καλύπτει το έδαφος του θερμοκηπίου. Τα περισσότερα πορώδη υποστρώματα, με κάποιες εξαιρέσεις όπως η τύρφη, η άμμος τα χαλίκια και μερικά άλλα, μπορούν να

τοποθετηθούν και σε γλάστρες και σε σάκους. Ωστόσο πιο σύνηθες είναι η καλλιέργεια σε σάκους. Έρευνες έχουν δείξει ότι όταν γίνεται καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα της οποίας οι κόκκοι έχουν μικρή διάμετρο είναι καλύτερα να τοποθετείται σε σάκους. Αυτό γιατί τα κλάσματα λόγω του ότι είναι μικρά απομακρύνονται με τις πρώτες αρδεύσεις μέσω της απορροής άμα τοποθετηθούν σε γλάστρες. Όταν όμως τοποθετούνται σε σάκους τα λεπτόκοκκα κλάσματα εκπλύνονται σε μικρότερο βαθμό, ιδιαίτερα όταν οι οπές στράγγισης σχηματίζονται λίγο ψηλότερα από τον πυθμένα του σάκου. Αντίθετα όταν χρησιμοποιείται ελαφρόπετρα της οποίας οι κόκκοι έχουν μεγαλύτερη διάμετρο (όπως και στο πείραμα αυτό), είναι καλύτερο να χρησιμοποιούνται γλάστρες με μικρές οπές αποστράγγισης, γιατί τότε τα κλάσματα δεν εκπλύνονται και η στράγγιση είναι επαρκής. (Μαυρογιαννόπουλος 2006 και Στάμου et al. 2005).

1.2.8. Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος

Στην υδροπονία θρεπτικό διάλυμα, καλείται το υδατικό διάλυμα που περιέχει με την μορφή ιόντων όλα εκείνα τα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την σωστή θρέψη των φυτών.

Το σύστημα παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος περιλαμβάνει :

- την εγκατάσταση παροχής νερού (γεώτρηση, σύνδεση με αρδευτικό κ.τ.λ.)
- τα φίλτρα
- την δεξαμενή ανάμειξης (μόνο στα κλειστά υδροπονικά συστήματα)
- τα δοχεία πυκνών διαλυμάτων

Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος προκύπτει από την αραίωση, με το νερό της άρδευσης, πυκνότερων διαλυμάτων, όπου τα τελευταία περιέχουν την απαιτούμενη αναλογία θρεπτικών στοιχείων. Τα πυκνότερα διαλύματα ονομάζονται μητρικά διαλύματα και τοποθετούνται σε δοχεία τα οποία έχουν χωρητικότητα 100 –1000 λίτρων. Συνήθως υπάρχουν τρία δοχεία (Α, Β και Γ) εκ των οποίων το πρώτο περιέχει τα οξέα νιτρικό και φωσφορικό ώστε να ρυθμίζεται ακριβέστερα το pH, στο δεύτερο περιέχονται νιτρικό άλας και χηλικός σίδηρος και στο τρίτο δοχείο υπάρχουν όλα τα άλλα στοιχεία. Στη συνέχεια είτε παρεμβάλλεται μία δεξαμενή ανάμειξης (στα κλειστά συστήματα) είτε η ανάμειξη γίνεται στην διαδρομή του νερού μέσα στον σωλήνα τροφοδοσίας (στα ανοιχτά συστήματα).

Στην περίπτωση που υπάρχει δεξαμενή ανάμειξης τα μητρικά διαλύματα από τα δοχεία πυκνών διαλυμάτων μαζί με το καθαρό νερό και το διάλυμα που επιστρέφει από τα φυτά οδηγούνται και αναμειγνύονται στη δεξαμενή ανάμειξης. Στη δεξαμενή τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος είναι απαραίτητος ο έλεγχος της αγωγιμότητας και του pH του θρεπτικού διαλύματος. Αυτό γίνεται με κατάλληλους αισθητήρες ή με φορητές συσκευές.

Στην άλλη περίπτωση τα λιπαντικά στοιχεία εγχύνονται κατευθείαν στο αρδευτικό δίκτυο. Στο τέλος πραγματοποιείται αυτόματος έλεγχος της αγωγιμότητας και του pH του διαλύματος.

Σε κάθε περίπτωση είναι αναγκαίο να υπάρχουν φίλτρα τόσο για τον καθαρισμό του νερού άρδευσης όσο και για τον καθαρισμό των θρεπτικών διαλυμάτων από τυχόν ακαθαρσίες. Τέλος υπάρχουν τροφοδοτικές αντλίες που στέλνουν το θρεπτικό διάλυμα με την βοήθεια αγωγών στα φυτά.

Για το φυτό της τομάτας το επιθυμητό pH είναι 5,0-6,5 και η αλατότητα στην περιοχή του ριζοστρώματος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 3 dS/m. (Benton Jones 2005, www.agrek.gr και Μαυρογιαννόπουλος 2006).

1.3. Προβλήματα-προβληματισμοί σχετικά με τα υποστρώματα.

Σήμερα στις υδροπονικές καλλιέργειες χρησιμοποιείται πληθώρα υποστρωμάτων. Την επιλογή των υποστρωμάτων που θα χρησιμοποιηθούν επηρεάζουν οι φυσικοχημικές τους ιδιότητες (οι οποίες επηρεάζουν την συγκράτηση και απελευθέρωση νερού και θρεπτικών στοιχείων), η διαθεσιμότητά του στην τοπική αγορά, το κόστος τους, η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης τους και η δυνατότητα ανακύκλωσης τους, αλλά κυρίως η εμπειρία από τη χρήση τους καθώς και παραγωγή που δίνουν. Στη συνέχεια αναλύονται κάποια από τα πιο διαδεδομένα υποστρώματα ως προς τα παραπάνω χαρακτηριστικά. (Smith 1987).

Περλίτης – Ελαφρόπετρα – Πετροβάμβακας

Ο περλίτης, η ελαφρόπετρα και ο πετροβάμβακας έχουν παρόμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες (Noland et al. 1992), γι' αυτό αναλύονται μαζί.

Φυσικές ιδιότητες

Όσο μεγαλύτερο είναι το πορώδες τόσο περισσότερο διευκολύνεται η στράγγιση και ο αερισμός της ρίζας. Έτσι ο περλίτης έχει υψηλό πορώδες 65 - 82% , αλλά ένα μέρος του είναι κλειστό πορώδες. Το πορώδες της ελαφρόπετρας κυμαίνεται μεταξύ 70 – 80% ενώ οι πόροι καταλαμβάνουν το 87-96% του όγκου του πετροβάμβακα. Το βάρος του περλίτη είναι 94 - 128 kg/m³ και μπορεί να συγκρατήσει 3πλάσιο ή 4πλάσιο νερό σε σχέση με το βάρος του. Το βάρος της ελαφρόπετρας και του πετροβάμβακα κυμαίνονται μεταξύ 720 και 550 kg/m³ και 52-75 κιλά ανά m³ αντίστοιχα. Έτσι η ελαφρόπετρα έχει το μειονέκτημα ότι είναι βαρύτερο υλικό. Ακόμα απαιτεί τη συχνότερη άρδευση, λόγω χαμηλότερης υδατοϊκανότητας σε σχέση με τα άλλα δύο υποστρώματα ή ακόμα και σε σχέση με οργανικά υποστρώματα. (Ravin et al. 1999, Μαυρογιαννόπουλος 2006 και Savvas & Passam 2002).

Χημικές ιδιότητες

Στην αρχή ο πετροβάμβακας αντιδρά αλκαλικά και γι' αυτό χρειάζεται λίγος χρόνος ώσπου να εξουδετερωθεί. Και τα τρία υποστρώματα δεν έχουν σημαντική ρυθμιστική ούτε και εναλλακτική ικανότητα ιόντων. Το pH του πετροβάμβακα είναι περίπου 7, και περιέχει ορισμένα άλατα, που μπορούν να αποσπαστούν από τα φυτά σε μικρή ποσότητα. Επιπλέον παρουσιάζει πολύ χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το pH του περλίτη είναι 7,0 - 7,5, και δεν περιέχει άλατα. Το pH της ελαφρόπετρας είναι σχεδόν ουδέτερο, μπορεί να περιέχει διάφορα άλατα και η ηλεκτρική της αγωγιμότητα είναι χαμηλή. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η χημική σύνθεση των υποστρωμάτων.

Πίνακας 1.1. Χημική σύνθεση των υποστρωμάτων σε οξείδια εκφρασμένα σε επί τοις εκατό.

Στοιχεία Υπόστρωμα	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	MnO (%)	TiO ₂ (%)
Πετροβάμβακας	47	14	16	10	8	1	1	1	1
Ελαφρόπετρα	70-75	12-14	1-3	0,1-0,6	0,8-2,0	3-6	4-5	-	-
Περλίτης	73,1	15,3	0,8	0,05	1,05	3,65	4,5	-	-

Άλλες ιδιότητες

Ο περλίτης και ο ορυκτοβάμβακας θεωρούνται αποστειρωμένα υλικά λόγω υψηλών θερμοκρασιών που υφίστανται κατά την παρασκευή τους. Η ελαφρόπετρα είναι βιολογικά αδρανής και δεν περιέχει παθογόνα ή ζιζάνια. Επιπλέον και τα τρία υποστρώματα έχουν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης. Η ελαφρόπετρα είναι φθηνότερη από τα άλλα δύο υποστρώματα, ακολουθεί ο περλίτης και τέλος ο πετροβάμβακας καθώς είναι ακριβότερος. Ακόμα μία διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι ο πετροβάμβακας δεν μπορεί να ανακυκλωθεί, κάτι που αποτελεί πρόβλημα για το περιβάλλον, ενώ ο περλίτης και η ελαφρόπετρα είναι ανακυκλώσιμα υλικά. Η ελαφρόπετρα και ο περλίτης έχουν πολύ καλά αποτελέσματα στην παραγωγή. Το ίδιο ισχύει και για το πετροβάμβακα.(Manios et al. 1995, Οικονομάκης 1997, 1999, Economakis et al. 1999, Gunnlaugsson και Adalsteinsson 1995).

Ίνες καρύδας

Φυσικές ιδιότητες

Το υπόστρωμα αυτό χαρακτηρίζεται από σταθερότητα και πολύ ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη της ρίζας. Έχει υψηλό πορώδες 95-97% και χαμηλή πυκνότητα 82 kg/m³. Χαρακτηρίζεται από υψηλή υδατοϊκανότητα, υψηλότερη από αυτή του πετροβάμβακα..

Χημικές ιδιότητες

Το pH κυμαίνεται μεταξύ 5-6 και έχει μέση ως υψηλή ρυθμιστική και εναλλακτική ικανότητα. Έχει το μειονέκτημα ότι μπορεί να έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα και οπότε ξεπλένονται με άφθονο νερό.

Άλλες ιδιότητες

Οι ίνες καρύδας είναι πιθανό να χρειαστούν αποστείρωση. Ως βιοδιασπαζόμενο, φυσικό υλικό που είναι, δεν προκαλεί προβλήματα στο περιβάλλον. Μπορεί να

αντικαταστήσει την τύρφη καθώς έδωσε παρόμοια παραγωγή, ενώ σαν οργανικό υλικό που είναι έχει υψηλότερο κόστος. (Meerow, 1994 και Evans and Iles 1997).

Τύρφη

Φυσικοχημικές ιδιότητες

Οι φυσικοχημικές της ιδιότητες την καθιστούν ένα πολύ κατάλληλο υπόστρωμα για την ανάπτυξη των φυτών, αλλά ποικίλλουν ανάλογα με το είδος τύρφης που χρησιμοποιείται. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το pH της διαλυμένης σε νερό τύρφης είναι 3,5-4, η πυκνότητά της είναι 60-100 kg/m³. Η μέθοδος με τις διάφορες τύρφες ενώ τα πρώτα χρόνια βοήθησε να αποφευχθούν ασθένειες εδάφους και έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα στην παραγωγή, σήμερα εγκαταλείπεται, γιατί παρουσιάζει συχνά προβλήματα στην άρδευση και η διαχείριση του νερού είναι δύσκολή. Όταν στεγνώσει δεν απορροφά ομοιόμορφα σ' όλη της τη μάζα το νερό. Συνήθως το νερό κυλά στην περιφέρεια χωρίς να διαβρέχει το κέντρο.

Άλλες ιδιότητες

Έχει το πρόβλημα ότι μπορεί να αποικοδομηθεί περαιτέρω κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, απελευθερώνοντας θρεπτικά στοιχεία στο θρεπτικό διάλυμα. Η τύρφη μπορεί να αποστειρωθεί όμως αυτό δεν λύνει το πρόβλημα τα υπολλείματα ελκύουν εύκολα παθογόνους μύκητες. Δεν ρυπαίνει το περιβάλλον καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο έδαφος και δεν έχει υψηλό κόστος. (Savvas & Passam 2002 και Μαυρογιαννόπουλος 2006)

1.5. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής διατριβής είναι η μελέτη της επίδρασης τεσσάρων διαφορετικών υποστρωμάτων σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας και ο καθορισμός του υποστρώματος που επέφερε τη μεγαλύτερη αύξηση, ανάπτυξη και παραγωγή στα φυτά τομάτας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Λόγω των ποικίλων προβλημάτων που παρουσιάζει σήμερα η καλλιέργεια φυτών στο έδαφος, γίνονται όλο και περισσότερες δοκιμές σε υδροπονικά υποστρώματα για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων, αλλά και για την αξιολόγηση των διαφόρων υποστρωμάτων.

2.1. Επίδραση υποστρωμάτων στον αριθμό καρπών

Από μελέτες των Δασκαλάκη και Οικονομάκη (2003) και Parks et al. (2004), τα υποστρώματα δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές όσον αφορά τον αριθμό των καρπών, σε καλλιέργεια αγγουριού. Οι Δασκαλάκη και Οικονομάκης σύγκριναν ελαφρόπετρα, λεπτόκοκκο περλίτη, χονδρόκοκκο περλίτη, ελαφρόπετρα με 10% ζεόλιθο, λεπτόκοκκο περλίτη με 10% ζεόλιθο και χονδρόκοκκο περλίτη με 10% ζεόλιθο, ενώ οι Parks et al. σύγκριναν ίνες καρύδας, φλοιούς κωνοφόρων, περοβάμβακα, περλίτη και μίγμα αγγουριών.

2.2. Επίδραση υποστρωμάτων στη παραγωγή

Οι Δασκαλάκη και Οικονομάκης (2003) δεν βρήκαν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ ελαφρόπετρας, λεπτόκοκκου περλίτη, χονδρόκοκκου περλίτη, ελαφρόπετρας με 10% ζεόλιθο, λεπτόκοκκου περλίτη με 10% ζεόλιθο και χονδρόκοκκου περλίτη με 10% ζεόλιθο, στη παραγωγή φυτών αγγουριού, τόσο σε κλειστό όσο και σε ανοιχτό σύστημα.

Οι Parks et al. (2004), βρήκαν ότι κανένα από τα : ίνες καρύδας, φλοιοί κωνοφόρων, περοβάμβακας, περλίτης και μείγμα αγγουριών δεν επηρέασε σημαντικά την απόδοση της καλλιέργειας μίνι αγγουριών.

Οι Hitchon et al. (1991), βρήκαν ότι οι αποδόσεις καρπών σε φυτά τομάτας ήταν παρόμοιες και στους τρεις τύπους περλίτη που χρησιμοποίησαν (περλίτης όπου το 90% των κόκκων είχε διάμετρο 1-5 mm και δύο Σαρδινιακοί περλίτες όπου στον ένα το 90% των κόκκων είχε διάμετρο 0,6–1,4 και στον άλλο <1 mm).

Οι Gunnlaugsson and Adalsteinsson (1995), βρήκαν ότι οι αποδόσεις των φυτών μεταξύ ελαφρόπετρας και πετροβάμβακα ήταν παρόμοιες σε καλλιέργεια τομάτας.

Οι Paradiso et al. (2003), δεν βρήκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην παραγωγή ανθέων τριανταφυλλιάς μεταξύ ελαφρόπετρας και ηφαιστειογενούς πετρώματος. (lapillus).

Από μελέτη των Fascella et al. (2005) σε καλλιέργεια τριανταφυλλιάς μεταξύ περλίτη και μίγμα περλίτη με ίνες καρύδας βρέθηκαν διαφορές στη παραγωγή. Πιο συγκεκριμένα το μίγμα περλίτη/ίνες καρύδας (1:1) έδωσε τον μεγαλύτερο αριθμό ανθέων.

Οι Maloupa et al., (1996) και Maloupa and Gerasopoulos (1999), βρήκαν διαφορές μεταξύ περλίτη, ζεόλιθου, πετροβάμβακα και άμμου στην απόδοση φυτών ζέρμπερας. Στο πρώτο πείραμα την υψηλότερη συνολική απόδοση έδωσαν τα φυτά που αναπτύχθηκαν στον περλίτη και τον ζεόλιθο. Στο δεύτερο πείραμα τα φυτά του περλίτη είχαν τη μεγαλύτερη απόδοση ενώ τα φυτά του ζεόλιθου είχαν τη μικρότερη απόδοση. Όμως στο δεύτερο πείραμα σε άλλη περίοδο παραγωγής δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των τεσσάρων υποστρωμάτων.

Οι Gul et al. (2007), σε παραγωγή αγγουριών βρήκαν στατιστικώς σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τριών παραγόντων που εξέτασαν. Αυτοί ήταν α) τα υποστρώματα: περλίτης : ζεόλιθος (3:1), περλίτης : ζεόλιθος (1:1), ελαφρόπετρα : ζεόλιθος (3:1) και ελαφρόπετρα : ζεόλιθος (1:1), β) οι ποικιλίες Armada και Gordion και γ) πηγή θρέψης (οργανική και ανόργανη). Έτσι τα υποστρώματα δεν φάνηκε να επιδρούν στις αποδόσεις της ποικιλίας Armada, ενώ τα υποστρώματα με περλίτη έδωσαν μεγαλύτερη παραγωγή από αυτά της ελαφρόπετρας στην ποικιλία Gordion. Αυτή η επίδραση ήταν πιο εμφανής στην μεταχείριση με την κοπριά.

Οι Gul et al. (2007), σε άλλη περίοδο παραγωγής αγγουριών βρήκαν ότι τα υποστρώματα, οι πηγές θρέψης αλλά και οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις εμφάνισαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Συγκεκριμένα τα υποστρώματα με περλίτη έδωσαν υψηλότερες αποδόσεις από αυτά με ελαφρόπετρα, ενώ το ανόργανο θρεπτικό

διάλυμα ήταν αυτό που έδωσε τις μεγαλύτερες αποδόσεις και ακολούθησαν το οργανικό διάλυμα και η στέρεα κοπριά.

Οι Colla et al. (2003), βρήκαν ότι φυτά αγγουριάς σε ελαφρόπετρα, περλίτη και ίνες καρύδας έδωσαν μεγαλύτερη παραγωγή από τα φυτά στον πετροβάμβακα.

Από μελέτη των Στάμου et al. (2005), σε αγγούρι η κοκκομετρία της ελαφρόπετρας και του υποδοχέα της (γλάστρα ή σάκος) επηρέασαν στατιστικά σημαντικά την απόδοση των φυτών αγγουριού. Οι υψηλότερες αποδόσεις επιτεύχθηκαν στην ελαφρόπετρα με διάμετρο κόκκων 0-2, 0-5 και 0-8 mm και είχε τοποθετηθεί σε γλάστρα καθώς και στην ελαφρόπετρα με κοκκομετρία 0-8 mm που είχε τοποθετηθεί σε σάκο. Οι χαμηλότερες αποδόσεις παρουσιάστηκαν στη μεταχείριση που συνδυάζε γλάστρα με κοκκομετρία 5-8 mm και στη μεταχείριση που συνδυάστηκε ελαφρόπετρα 0-2 mm με σάκο. Αντίστοιχο πείραμα έγινε και στο μαρούλι όπου ανεξαρτήτως υποδοχέα, την χαμηλότερη απόδοση έδωσε η ελαφρόπετρα με διάμετρο κόκκων 5-8 mm.

Οι Σιώμος et al. (2001) διαπίστωσαν ότι η ελαφρόπετρα έδωσε παρόμοιες ή υψηλότερες αποδόσεις από αυτές του περλίτη. Επιπλέον κατέληξαν στο ότι η απόδοση του μαρουλιού σε κλειστό υδροπονικό σύστημα επηρεάζεται κυρίως από την ποικιλία και λιγότερο από το υπόστρωμα της καλλιέργειας.

Από μελέτη των Alan et al. (1994) βρέθηκαν διαφορές μεταξύ χώματος, περλίτη, τύρφης, άμμου, ελαφρόπετρας και διάφορων συνδυασμών τους, όσον αφορά συνολική παραγωγή φυτών τομάτας. Την υψηλότερη παραγωγή έδωσε το μίγμα με 80 % ελαφρόπετρα, 10 % περλίτη και 10 % τύρφη, δίνοντας περίπου 30 % περισσότερο προϊόν σε σύγκριση με το καθαρό χώμα.

2.3. Επίδραση υποστρωμάτων στη ποιότητα

Οι Maloupa et al., (1996) και Maloupa and Gerasopoulos (1999), βρήκαν διαφορές μεταξύ περλίτη, ζεόλιθου, πετροβάμβακα και άμμου στην ποιότητα των ανθέων ζέρμπερας. Και στις δύο μελέτες την καλύτερη ποιότητα ανθέων έδωσε ο περλίτης.

Παρόλα αυτά στο δεύτερο πείραμα σε επόμενη περίοδο δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των ίδιων υποστρωμάτων.

Οι Fascella et al. (2005) βρήκαν ότι ο περλίτης και το μίγμα περλίτη με ίνες καρύδας (1:1) επηρέασαν την ποιότητα των ανθέων σε καλλιέργεια τριανταφυλλιάς. Πιο συγκεκριμένα το μίγμα περλίτη/ίνες καρύδας έδωσε μεγαλύτερο μήκος βλαστών (65 εκατ.).

Αντιθέτως οι Paradiso et al. (2003), δεν βρήκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην ποιότητα των ανθέων τριανταφυλλιάς μεταξύ ελαφρόπετρας και ηφαιστειογενούς πετρώματος (lapillus).

Οι Σιώμος et al. (2001) βρήκαν ότι η ποιότητα του μαρουλιού στην ελαφρόπετρα είναι παρόμοια ή και καλύτερη από αυτή του περλίτη.

Επίσης οι Colla et al. (2003) και οι Parks et al. (2004), δεν βρήκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στη ποιότητα καρπών αγγουριάς. Οι πρώτοι σύγκριναν πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα, περλίτη και ίνες καρύδας και οι δεύτεροι συμπεριέλαβαν επιπλέον φλοιούς κωνοφόρων και μίγμα αγγουριών ενώ δεν μελέτησαν ως υπόστρωμα την ελαφρόπετρα.

2.4. Επίδραση υποστρωμάτων στη κατανάλωση θρεπτικού διαλύματος και νερού

Οι Δασκαλάκη και Οικονομάκης, μεταξύ ελαφρόπετρας, λεπτόκοκκου περλίτη, χονδρόκοκκου περλίτη, ελαφρόπετρας με 10% ζεόλιθο, λεπτόκοκκου περλίτη με 10% ζεόλιθο και χονδρόκοκκου περλίτη με 10% ζεόλιθο, σε φυτά αγγουριού, τόσο σε κλειστό όσο και σε ανοιχτό σύστημα, βρήκαν ότι η κατανάλωση θρεπτικού διαλύματος και νερού ήταν χαμηλότερα στο κλειστό υδροπονικό σύστημα.

Οι Fascella et al. (2005) σε καλλιέργεια τριανταφυλλιάς μεταξύ περλίτη και μίγμα περλίτη με ίνες καρύδας βρήκαν διαφορές στη κατανάλωση ύδατος. Έτσι τα φυτά που αναπτύχθηκαν στον περλίτη και στο μίγμα περλίτη έδωσαν 0,78 και 0,62 L/φυτό/ημέρα αντίστοιχα.

2.5. Επίδραση υποστρωμάτων στην αύξηση φυτών

Οι Gul et al. (2007), βρήκαν στατιστικώς σημαντική διαφορά στην αύξηση φυτών αγγουριάς λόγω ποικιλίας, πηγής θρέψης και υποστρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Η αύξηση των φυτών ήταν μεγαλύτερη στις μεταχειρίσεις με το ανόργανο θρεπτικό διάλυμα παρά με το οργανικό. Μεταξύ μίγματος περλίτη : ζεόλιθου (3:1), μίγματος περλίτη : ζεόλιθου (1:1), μίγματος ελαφρόπετρας : ζεόλιθου (3:1) και μίγματος ελαφρόπετρας : ζεόλιθου (1:1), την μεγαλύτερη αύξηση παρουσίασαν τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο μίγμα περλίτη και ζεόλιθου με αναλογία 3:1.

Οι Gul et al. (2007), σε παρόμοιο πείραμα βρήκαν ότι η ποικιλία, η πηγή θρέψης και τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν δεν έδωσαν σημαντικές διαφορές στην αύξηση των φυτών αγγουριού.

Μελέτη των Paradiso et al. (2003), μεταξύ ελαφρόπετρας και ηφαιστειογενούς πετρώματος (lapillus) δεν έδειξε στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην αύξηση των φυτών τριανταφυλλιάς.

2.6. Επίδραση υποστρωμάτων στο βάρος των καρπών

Οι Parks et al. (2004), δεν βρήκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές όσον αφορά, το βάρος των καρπών ή το μέσο βάρος καρπών/φυτό φυτού μεταξύ ινών καρύδας, φλοιών κωνοφόρων, περοβάμβακα, περλίτη και μίγματος αγγουριών σε καλλιέργεια μίνι αγγουριών.

2.7. Επίδραση υποστρωμάτων στο ξηρό βάρος φυτού

Οι Parks et al. (2004), δεν βρήκαν σημαντικές διαφορές όσον αφορά το ξηρό βάρος φυτού μεταξύ ινών καρύδας, φλοιών κωνοφόρων, περοβάμβακα, περλίτη και μίγματος αγγουριών σε καλλιέργεια μίνι αγγουριών.

Όμως οι Colla et al. (2003), βρήκαν ότι φυτά αγγουριάς σε ελαφρόπετρα, περλίτη και ίνες καρύδας έδωσαν μεγαλύτερο ξηρό βάρος φύλλων, βλαστών και καρπών απ' ότι φυτά σε πετροβάμβακα.

2.8. Επίδραση υποστρωμάτων στη συντήρηση καρπών

Οι Parks et al. (2004), βρήκαν διαφορές μεταξύ υποστρωμάτων όσον στη συντήρηση των καρπών (χρώμα καρπών, αλλοίωση, υφή και ξηρά ουσία) μίνι αγγουριών.

2.9. Επίδραση υποστρωμάτων στις συγκεντρώσεις θρεπτικών

Οι Colla et al. (2003), βρήκαν σημαντικές διαφορές όσον αφορά τις συγκεντρώσεις θρεπτικών σε φυτά αγγουριάς μεταξύ πετροβάμβακα, ελαφρόπετρας, περλίτη και ινών καρύδας. Οι συγκεντρώσεις του καλίου και του νατρίου ήταν υψηλότερες σε καρπούς και στο θρεπτικό διάλυμα στις ίνες καρύδας ενώ ο περλίτης και η ελαφρόπετρα είχαν υψηλότερη συγκέντρωση ασβεστίου στο θρεπτικό διάλυμα, τα φύλλα και τους καρπούς. Ο φώσφορος και το μαγνήσιο βρέθηκαν υψηλότερα στο θρεπτικό διάλυμα και στα όργανα των φυτών στις ίνες καρύδας.

2.10. Επίδραση υποστρωμάτων στη ξηρά ουσία

Οι Dobričević et al. (2008), βρήκαν σημαντικές διαφορές όσον αφορά τη ξηρά ουσία σε φυτά τομάτας που αναπτύχθηκαν σε ίνες καρύδας, σε σύγκριση με πετροβάμβακα, τύρφη και ίνες καρύδας.

2.11. Επίδραση υποστρωμάτων στο pH

Οι Dobričević et al. (2008), βρήκαν σημαντικές διαφορές όσον αφορά το pH σε φυτά τομάτας που αναπτύχθηκαν σε διογκωμένη άργιλο, σε σύγκριση με πετροβάμβακα, τύρφη και ίνες καρύδας.

2.12. Επίδραση υποστρωμάτων στη περιεκτικότητα σε L-ασκορβικό οξύ

Από μελέτη των Dobričević et al. (2008) και Alan et al. (1994), βρέθηκαν διαφορές μεταξύ υποστρωμάτων όσον αφορά τη περιεκτικότητα σε L-ασκορβικό οξύ σε φυτά τομάτας. Οι πρώτοι σύγκριναν πετροβάμβακα, περλίτη, διογκωμένη άργιλος και η τύρφη, και βρήκαν διαφορές στα φυτά που καλλιεργήθηκαν στον πετροβάμβακα. Οι δεύτεροι βρήκαν διαφορές μεταξύ χώματος, περλίτη, τύρφη, άμμου, ελαφρόπετρας

και διάφορων συνδυασμών τους, με τον περλίτη να δίνει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ.

2.13. Επίδραση υποστρωμάτων στη συνολική οξύτητα

Από μελέτη των Dobričević et al. (2008) και Alan et al. (1994), βρέθηκαν διαφορές μεταξύ υποστρωμάτων όσον αφορά τη συνολική οξύτητα σε φυτά τομάτας. Οι πρώτοι σύγκριναν πετροβάμβακα, ίνες καρύδας και διογκωμένη άργιλο, και βρήκαν διαφορές στα φυτά που καλλιεργήθηκαν στις ίνες καρύδας. Οι δεύτεροι βρήκαν διαφορές μεταξύ χώματος, περλίτη, τύρφη, άμμου, ελαφρόπετρας και διάφορων συνδυασμών τους, με την άμμο να δίνει τις υψηλότερες τιμές οξύτητας και το μίγμα περλίτη : ελαφρόπετρα (1:1) να δίνει τις χαμηλότερες τιμές οξύτητας.

2.14. Επίδραση υποστρωμάτων στη διάμετρο καρπών

Από μελέτη των Στάμου et al. (2005), σε αγγούρι η κοκκομετρία της ελαφρόπετρας και του υποδοχέα της (γλάστρα ή σάκος) δεν επηρέασε τη διάμετρο των καρπών.

2.15. Επίδραση υποστρωμάτων στη περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά

Από μελέτη των Alan et al. (1994) βρέθηκαν διαφορές μεταξύ χώματος, περλίτη, τύρφη, άμμου, ελαφρόπετρας και διάφορων συνδυασμών τους, όσον αφορά τη περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά, σε φυτά τομάτας. Μεγαλύτερη περιεκτικότητα βρέθηκε σε φυτά που είχαν αναπτυχθεί σε υπόστρωμα τύρφης ενώ μικρότερη σε υπόστρωμα ελαφρόπετρα : τύρφη (1:1).

2.16. Μελέτες υποστρωμάτων

Σήμερα μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζεται στη χρήση υποστρωμάτων χαμηλού κόστους με δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης. Η ελαφρόπετρα και ο περλίτης είναι υλικά ευρέως διαδεδομένα στη χώρα μας, χαμηλού κόστους, με πολύ καλά αποτελέσματα στην παραγωγή, δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης αλλά και ανακύκλωσης μετά την χρήση τους. Χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα αρκετά χρόνια με πολύ καλά αποτελέσματα. (Manios et al. 1995, Οικονομάκης 1997, 1999 και

Economakis et al. 1999). Οι Σιώμος et al. (2001) κατέληξαν στο ότι η καλλιέργεια μαρουλιού σε περλίτη δίνει παρόμοιες ή μικρότερες αποδόσεις απ' ότι η καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα και συνεπώς η ελαφρόπετρα ενδείκνυται ως υπόστρωμα για το μαρούλι. Η ελαφρόπετρα αποτελεί καλή εναλλακτική έναντι άλλων ανόργανων πορωδών υποστρωμάτων λόγω πλεονεκτημάτων που την χαρακτηρίζουν (φιλική προς το περιβάλλον και οικονομική). (Gunnlaugsson and Adalsteinsson 1995). Ο πετροβάμβακας θεωρείται από πολλούς ιδανικό υπόστρωμα για υδροπονική καλλιέργεια. Είναι επιπλέον ευρέως διαδεδομένος και δίνει καλά αποτελέσματα στην παραγωγή, όμως η ινώδης δομή του μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη του φυτού και το σύστημα της άρδευσης που θα ακολουθηθεί.

Οι Grilas et al. (2001) αναφέρουν ότι ο περλίτης παρέχει καλό αερισμό και απορροή, καλύτερη διατήρηση της υγρασίας και της διαθεσιμότητας των θρεπτικών σε σχέση με άλλα υποστρώματα. Στην Ευρώπη είναι πολύ διαδεδομένο υπόστρωμα για κηπευτικά και ανθοκομικά φυτά. Η χρησιμοποίηση του περλίτη μέσα σε σάκους τα τελευταία χρόνια έχει εξαπλωθεί πολύ στη Μεσόγειο. Το 2001 στο 48% των υδροπονικών καλλιεργειών χρησιμοποιούσαν ως υπόστρωμα τον περλίτη. Ο περλίτης είναι ένα αποτελεσματικό υπόστρωμα για τις υδροπονικές καλλιέργειες ακόμα και σε περιοχές με δυσμενείς κλιματικές συνθήκες. Στο μέλλον είναι απαραίτητο να διενεργηθούν και άλλες έρευνες για την ανάπτυξη λαχανικών και ανθοκομικών φυτών σε περλίτη με σκοπό να αποκτηθεί επιπλέον εμπιστοσύνη στα πλεονεκτήματα αυτού του υποστρώματος.

Επειδή τα τρία υποστρώματα που αναφέρθηκαν παραπάνω εμφανίζουν πολλά κοινά μεταξύ τους θεωρήθηκε σκόπιμο σε αυτή την μελέτη να ασχοληθούμε με αυτά τα υποστρώματα.

Καθώς στην εργασία αυτή το φυτό στο οποίο γίνεται η δοκιμή των τεσσάρων υποστρωμάτων είναι η τομάτα, κρίνεται σκόπιμο να παρουσιασθούν κάποια σχετικά στοιχεία για την καλλιέργεια.

2.17. Το φυτό της τομάτας

2.17.1. Καταγωγή

Το επιστημονικό όνομα της καλλιεργούμενης τομάτας είναι *Lycopersicon esculentum* και ανήκει στην οικογένεια Solanaceae. Άμεσος πρόγονος της σημερινής τομάτας θεωρείται η κερασοτομάτα (*L. Esculentum* var *cerasiforme*). Ο τόπος καταγωγής του *L. esculentum* πιστεύεται ότι είναι η Νότια Αμερική και συγκεκριμένα το Μεξικό, όπου και σήμερα αυτοφύονται διάφορες παραλλαγές της άγριας τομάτας. Στην Ευρώπη διαδόθηκε τον 16^ο μ.Χ. αιώνα ενώ στην Ελλάδα ήρθε το 1818 περίπου. Αρχικά καλλιεργήθηκε σαν καλλωπιστικό και όχι σαν λαχανικό γιατί οι καρποί της θεωρούνταν δηλητηριώδης. Ο λόγος που η τομάτα θεωρούνταν



ακατάλληλη για κατανάλωση, ήταν η μεγάλη ομοιότητα της με το φυτό Άτροπος (*Atropus belladonna*), το οποίο ήταν γνωστό από την αρχαιότητα για τις δηλητηριώδεις ιδιότητές του. Έτσι η συστηματική καλλιέργεια της τομάτας για κατανάλωση των καρπών της, καθυστέρησε για τρεις περίπου αιώνες.

Σήμερα η τομάτα καλλιεργείται στο ύπαιθρο και σε θερμοκήπια παντού στον κόσμο και καταναλώνεται όλο το χρόνο, νωπή αλλά και σε ακόμα μεγαλύτερες ποσότητες ως μεταποιημένη. Υπαίθρια καλλιέργεια τομάτας γίνεται κυρίως για τις βιομηχανικές τομάτες. Στην περίπτωση αυτή, οι σπόροι σπέρνονται κατά τη διάρκεια του τελευταίου δεκαήμερου του Απριλίου. Όσον αφορά την καλλιέργεια τομάτας σε θερμοκήπια αυτή γίνεται για τις επιτραπέζιες τομάτες. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί είτε να πραγματοποιηθεί μεταφύτευση στο θερμοκήπιο μέσα Σεπτεμβρίου με μέσα Νοεμβρίου και η συγκομιδή να λάβει χώρα μέσα Φεβρουαρίου με τέλη Ιουνίου, είτε η μεταφύτευση να γίνει μέσα Ιανουαρίου με μέσα Φεβρουαρίου και η συγκομιδή να πραγματοποιηθεί αρχές Απριλίου με τέλη Ιουνίου. (Ανώνυμος 2007 και Ολύμπιος 1990).

2.17.2. Περιγραφή του φυτού

Η τομάτα είναι ποώδης πολυετής φυτό που καλλιεργείται σαν ετήσιο για τους εδωδιμους καρπούς της. Ανήκει στα διπλοειδή είδη ($2n=24$) και είναι φυτό θερμής περιόδου. Το ύψος της μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 10 μέτρα, όμως συνήθως διατηρείται σε ένα ύψος 1 – 1,5 μέτρα.

Σπόρος

Οι σπόροι της τομάτας είναι μικροί, διαμέτρου 3-5 mm. Είναι ωοειδείς, πεπλατυσμένοι, χρώματος κίτρινο-καφέ και η επιφάνεια τους καλύπτεται από τριχοειδείς αποφύσεις. (Ολύμπιος 2001).



Εικόνα 2.1. Σπόροι τομάτας.

Ρίζα

Το φυτό δημιουργεί πλούσιο και σχετικά βαθύ ριζικό σύστημα, που μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 75 cm. Αναπτύσσει μία κεντρική ρίζα και αρκετές δευτερεύουσες ρίζες και ριζικά τριχίδια (πασσαλώδης ρίζα), όταν ο σπόρος φυτευθεί απευθείας στη μόνιμη θέση. Όταν η τομάτα καλλιεργείται σε θερμοκήπιο, επειδή τα φυτά μεταφυτεύονται μία ή περισσότερες φορές, η κεντρική ρίζα κόβεται, καταστρέφεται και το φυτό αρχίζει να παράγει με ευκολία πολλές δευτερεύουσες πλευρικές ρίζες, ακόμα και από το λαιμό του φυτού.

Βλαστός

Το φυτό της τομάτας φέρει ένα κεντρικό βλαστό και πολλούς πλευρικούς. Ο κεντρικός βλαστός φέρει τα πραγματικά φύλλα. Στις μασχάλες αυτών των φύλλων

υπάρχουν οφθαλμοί που δίνουν πλευρικούς βλαστούς. Οι βλαστοί της τομάτας στα πρώτα στάδια είναι τρυφεροί και ευαίσθητοι, αλλά μετά γίνονται πιο σκληροί και ανθεκτικοί, χωρίς να ξυλοποιούνται. Τόσο οι κεντρικοί όσο και οι πλάγιοι βλαστοί φέρουν τριχίδια. Το σχήμα τους είναι κυλινδρικό και εσωτερικά είναι πλήρης. Πολλές φορές οι πλευρικοί βλαστοί που βρίσκονται κοντά στην κορυφή του φυτού είναι τόσο ζωνηροί που δύσκολα ξεχωρίζουν από τον κεντρικό.

Φύλλα

Τα πραγματικά φύλλα της τομάτας είναι σύνθετα και καλύπτονται από τριχίδια. Είναι ελικοειδώς διατεταγμένα επί του βλαστού και το χρώμα τους είναι βαθύ πράσινο στην πάνω επιφάνεια και ανοιχτό πράσινο στην κάτω. Κάθε φύλλο αποτελείται από ζεύγη φυλλαρίων και παράφυλλων και είναι περιττόληκτο (φέρει ένα μόνο φυλλάριο στην άκρη). (Ολύμπιος 2001 και www.gardenguide.gr/index.php?...tomata...)

Άνθη – Ταξιανθία

Τα άνθη είναι ερμαφρόδιτα, κίτρινου χρώματος και αυτογονιμοποιούμενα. Εμφανίζονται πολλά μαζί σε ταξιανθίες. Κάθε ταξιανθία φέρει 3-20 άνθη ανά ταξιανθία ή και περισσότερα. Ένας επιθυμητός μέσος αριθμός για την καλλιέργεια της τομάτας είναι 6 – 8 άνθη ανά ταξιανθία.



Εικόνα 2.2. Άνθη τομάτας.

Καρπός

Ο καρπός είναι ράγα. Εσωτερικά δύναται να έχει δύο έως αρκετούς (3 ή περισσότερους) χώρους (χωρίσματα της ωοθήκης). Το σχήμα των καρπών ποικίλει ανάλογα με τον αριθμό των χωρισμάτων. Στις ποικιλίες με δύο χωρίσματα ο καρπός είναι συνήθως στρογγυλός, ενώ σε ποικιλίες με περισσότερους από δύο χώρους είναι

πεπλατυσμένος ή ακανόνιστος. Τέλος το χρώμα του καρπού στην πλήρη ωριμότητα είναι συνήθως έντονο κόκκινο, αλλά μπορεί να επίσης να είναι πορτοκαλί, κίτρινος, σχεδόν μαύρος, πράσινος ή ακόμη και άσπρος. (Ολύμπιος 2001, www.e-georpoi.gr και Κομνακάκος 2000).

2.17.3. Η σημασία της τομάτας για τον άνθρωπο

Η τομάτα χαρακτηρίζεται από μεγάλη διαιτητική αξία καθώς αποδεικνύεται ότι το εδώδιμο τμήμα της αποτελεί για τον άνθρωπο μία από τις κύριες πηγές κάλυψης των αναγκών του σε βιταμίνες και ιχνοστοιχεία. Οι καρποί της αποτελούνται από περίπου 95% νερό και κατά το υπόλοιπο μέρος συνίστανται από σάκχαρα, οργανικά οξέα, πρωτεΐνες και άλλα συστατικά. Περιέχουν σημαντικές ποσότητες βιταμίνης C και A, αλλά και τις βιταμίνες B1, B2, και άλατα ασβεστίου, σιδήρου, καλίου κ.α. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα πιο σημαντικά συστατικά που περιέχονται στη τομάτα.

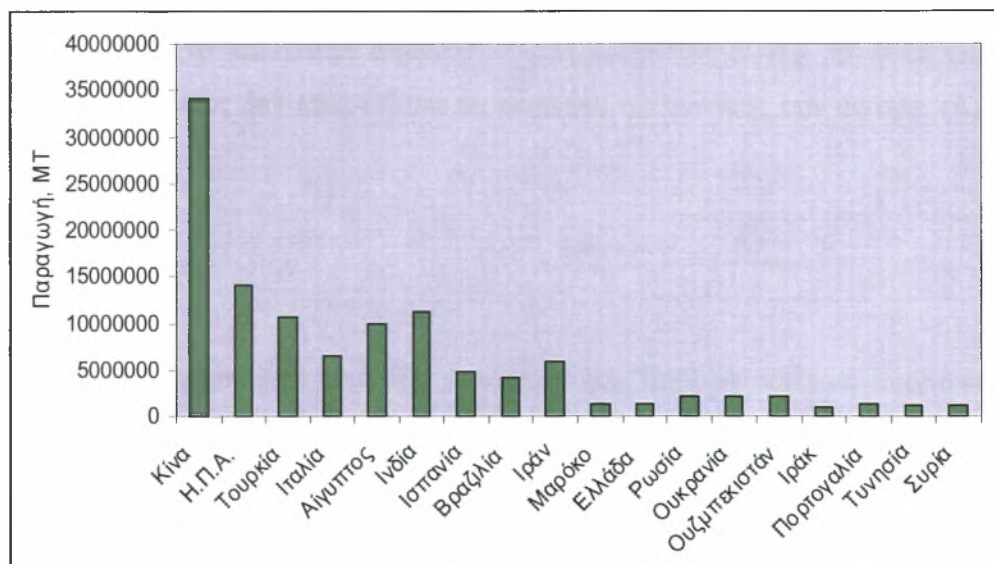
Πίνακας 2.1. Περιεκτικότητα της τομάτας σε βιταμίνες και μεταλλικά στοιχεία, η μέτρηση είναι σε mg/100g φρέσκου καρπού κατά βάρος. (www.agro-fst.web.auth.gr)

Βιταμίνη C	25
Βιταμίνη B2 (ριβοφλαβίνη)	0,04
Βιταμίνη B1 (θειαμίνη)	0,06
Βιταμίνη B6 (πυριδοξίνη)	0,20
Κάλιο (K)	244
Νάτριο (Na)	6,3
Ασβέστιο (Ca)	12
Μαγνήσιο(Mg)	14
Σίδηρος (Fe)	0,5
Μαγγάνιο (Mn)	0,2
Κοβάλτιο (Co)	0,003
Χαλκός (Cu)	0,2
Ψευδάργυρος (Zn)	0,24
Φωσφόρος (P)	26
Χλώριο (Cl)	40

Το πιο χαρακτηριστικό όμως συστατικό του καρπού της τομάτας είναι το λυκοπένιο. Είναι μια καροτινοειδής χρωστική, στην οποία οφείλεται το κόκκινο χρώμα του καρπού της τομάτας. Εκτός από τις χρωστικές του ιδιότητες, το λυκοπένιο είναι και ισχυρή αντιοξειδωτική ουσία. Πολλά πρόσφατα πειράματα έχουν αποδείξει ότι άνθρωποι που καταναλώνουν αυξημένες ποσότητες τομάτας και προϊόντων από τομάτα έχουν σημαντικά μικρότερο κίνδυνο για καρδιοπάθειες και ορισμένες μορφές καρκίνου. (www.agrofst.web.auth.gr, Ανώνυμος 2007, <http://www.orp.gr> και www.e-georponoi.gr).

2.17.4. Οι αποδόσεις της τομάτας

Μεταξύ των λαχανικών, η τομάτα καταναλώνεται σήμερα σε τέτοιες ποσότητες που στις περισσότερες χώρες έρχεται δεύτερη, ενώ υπάρχουν και χώρες όπου η τομάτα κατέχει την πρώτη θέση σε κατανάλωση. Ένας ενδεικτικός πίνακας παγκόσμιας παραγωγής τομάτας μας δείχνει το μέγεθος της καλλιέργειας της που αφορά τις πλέον παραγωγικές χώρες. (Ανώνυμος 2007).



Σχήμα 2.1. Παραγωγή τομάτας το 2009, σε Μεγατόνους. (Πηγή FAO).

2.17.5. Παράγοντες αύξησης και ανάπτυξης των φυτών τομάτας

Μέσα σε ένα θερμοκήπιο υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την αύξηση, την ανάπτυξη και την παραγωγή των φυτών. Το αποτέλεσμα της καλλιέργειας

εξαρτάται από την επίδραση όλων των παραγόντων, οι οποίοι πρέπει να βρίσκονται σε τουλάχιστον ανεκτά για το φυτό επίπεδα. (Κομνακάκος 2000).

2.17.5.1. Παράμετροι μικροκλίματος του θερμοκηπίου

Στους κλιματικούς παράγοντες ανήκουν η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η σχετική ατμοσφαιρική υγρασία, και το διοξείδιο του άνθρακα.

Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση των φυτών και πηγή θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου. Για την ανάπτυξη των φυτών σημαντικότερο ρόλο έχουν το φάσμα της ακτινοβολίας, η ένταση και η διάρκειά της. (Μαυρογιαννόπουλος 2005). Συγκεκριμένα η τομάτα ανθίζει και καρποφορεί καλύτερα σε διάρκεια ημέρας κάτω των 12-13 ωρών και σε ένταση φωτός 10.000-40.000 LUX. Ανωμαλίες στην ηλιακή ακτινοβολία προκαλούν προβλήματα στα φυτά. Έτσι το καλοκαίρι δημιουργούνται προβλήματα από το πολύ φως, ενώ το χειμώνα το φως δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες των φυτών. (Κομνακάκος 2000).

Θερμοκρασία

Η άριστη θερμοκρασία για την βλάστηση των σπόρων τομάτας κυμαίνεται μεταξύ 24-27 °C. Μετά την βλάστηση μπορεί να ρυθμιστεί μεταξύ των 14-16 °C τη νύχτα και μεταξύ 18-23 °C την ημέρα. (Ολύμπιος 1990). Σε κάθε περίπτωση η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο δεν πρέπει να κατέρχεται κάτω των 13,5 °C τη νύχτα, γιατί τότε μειώνεται σημαντικά η ανάπτυξη του φυτού και η φυσιολογική καρπόδεση. Επιπλέον η θερμοκρασία δεν πρέπει να ξεπερνά τους 27 °C την ημέρα γιατί μειώνεται η ζωηρότητα του φυτού, η παραγωγή και η ποιότητα των καρπών. Αν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 30 °C τότε προκαλείται ανθόρροια. Η διαφορά θερμοκρασίας ημέρας και νύχτας δεν πρέπει να ξεπερνά τους 5-7 °C.

Τέλος η θερμοκρασία υποστρώματος πρέπει να είναι γύρω στους 14 °C. Κάτω από τους 13 °C μειώνεται η ανάπτυξη και η λειτουργία της ρίζας. (Ολύμπιος 2001).

Υγρασία

Η άριστη επιθυμητή υγρασία της ατμόσφαιρας του θερμοκηπίου πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 60 – 70% . (Ολύμπιος 2001).

Διοξείδιου του άνθρακα

Όταν το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) βρίσκεται σε συγκεντρώσεις της τάξεως των 1000-1200 ppm επιταχύνεται ο ρυθμός ανάπτυξης και αυξάνεται η παραγωγή. Όταν το CO₂ στο θερμοκήπιο βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα, είναι τοξικό και προκαλεί ζημιές στα φυτά και σε χαμηλά επίπεδα καθυστερεί η ανάπτυξη, μειώνεται η παραγωγή και δημιουργούνται πολλά άλλα προβλήματα. (Κομνακάκος 2000).

2.17.5.2. Λοιποί παράγοντες

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών είναι : το σύστημα άρδευσης, η ποιότητα και η επάρκεια του νερού, το υδροπονικό σύστημα και τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται, ο εξοπλισμός του θερμοκηπίου, οι προσβολές από έντομα και ασθένειες, η θρεπτική κατάσταση του φυτού, η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος, ο χρόνος χρήσης του υποστρώματος και οι διάφορες καλλιεργητικές τεχνικές.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Τοποθεσία του πειράματος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε κατά το έτος 2009 στο Βελεστίνο του νομού Μαγνησίας, όπου βρίσκονται οι εγκαταστάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στα θερμοκήπια του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος. Το αγρόκτημα απέχει 17 km από τον Βόλο, το υψόμετρο της περιοχής είναι 85 m και βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ} 44'$ και γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 79'$. Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό - Ηπειρωτικό, με ήπιους χειμώνες και ξηροθερμικές συνθήκες το καλοκαίρι. Όσον αφορά την μέση θερμοκρασία, αυτή κυμαίνεται από περίπου 4°C κατά τον ψυχρότερο μήνα και 37°C περίπου κατά τον θερμότερο μήνα.

3.2. Περιγραφή θερμοκηπίου

Για την εκτέλεση του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένα τροποποιημένο τοξωτό απλό θερμοκήπιο, επιφάνειας 160 m^2 . Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου ήταν : μήκος 20 m, πλάτος 8 m, ύψος ορθοστάτη 2,4 m και ύψος κορφιά 4,1 m. Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφανές, διπλής όψεως ασπρόμαυρο πλαστικό. Το υλικό του σκελετού ήταν γαλβανισμένος χάλυβας ενώ ως υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκαν φύλλα πολυαιθυλενίου.



Εικόνα 3.1. Το πειραματικό θερμοκήπιο.

3.3. Αερισμός

Ο αερισμός του θερμοκηπίου πραγματοποιούνταν από πλαϊνά ανοίγματα, που βρίσκονταν κατά μήκος των δύο μεγάλων πλευρών, με διαστάσεις 0,9 m * 15 m έκαστο, καθώς και από ένα άνοιγμα στην οροφή, διαστάσεων 0,8 m * 20 m. Τα παράθυρα αερισμού, άνοιγαν με βάση την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Ο αερισμός γινόταν και για λόγους αφύγρανσης του θερμοκηπίου, ανεξαρτήτως της εσωτερικής θερμοκρασίας του αέρα. Στην περίπτωση αυτή είτε ορίζονταν συγκεκριμένες ώρες ανοίγματος των παραθύρων, ανεξαρτήτως των κλιματικών συνθηκών που επικρατούσαν εντός του θερμοκηπίου, είτε εξετάζονταν οι τιμές της σχετικής υγρασίας, του ελλείμματος κορεσμού, και λοιπών παραμέτρων. Ο αερισμός από 2/2 έως 20/3/2009 γινόταν από 09:00 το πρωί μέχρι 16:00 το απόγευμα με 30% άνοιγμα οροφής, ενώ στον Πίνακα 3.1. δίνονται οι τιμές- στόχοι της θερμοκρασίας, στις επόμενες περιόδους του πειράματος, όπως αυτές είχαν οριστεί.

Πίνακας 3.1. Τιμές θερμοκρασίας όπου πραγματοποιούνταν τα ανοίγματα των πλαϊνών και των παραθύρων οροφής.

Ημερομηνία	Θερμοκρασία για το άνοιγμα πλαϊνών παραθύρων		Θερμοκρασία για το άνοιγμα παραθύρων οροφής	
	Έναρξη ανοίγματος	Μέγιστο άνοιγμα	Έναρξη ανοίγματος	Μέγιστο άνοιγμα
20/3 έως 9/4/2009	26 °C	32 °C	22 °C	30 °C
9/4 έως 4/6/2009	24 °C	30 °C	22 °C	28 °C

3.4. Θέρμανση

Για τη θέρμανση του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε ένας καυστήρας πετρελαίου ισχύος 50 kW. Ο λεβητοκαυστήρας ήταν τοποθετημένος μέσα στο θερμοκήπιο και χρησίμευε στην παραγωγή ζεστού νερού. Η θέρμανση γινόταν με αερόθερμο το οποίο είχε τοποθετηθεί σε απόσταση 2.5 m από το έδαφος του θερμοκηπίου και με εύκαμπτους σωλήνες διανομής διαμέτρου 25 mm που είχαν τοποθετηθεί επάνω στο

έδαφος, κοντά στα φυτά. Το αερόθερμο και οι σωλήνες τροφοδοτούταν από το ζεστό νερό που παρήγαγε ο καυστήρας. Μέσα στο θερμοκήπιο υπήρχε και ένας θερμοστάτης, τοποθετημένος στο κέντρο του θερμοκηπίου, 2m πάνω από το έδαφος (στο ύψος του φυλλώματος περίπου), ο οποίος έλεγχε την θερμοκρασία του αέρα. Η επιθυμητή θερμοκρασία κατά την διάρκεια της ημέρας ήταν 21 °C και κατά την διάρκεια της νύχτας 15 °C. Όταν η θερμοκρασία του θερμοκηπίου έπεφτε κάτω από τις επιθυμητές θερμοκρασίες, τότε ο θερμοστάτης έκλεινε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και ενεργοποιούσε την κυκλοφορία του ζεστού νερού. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία του αέρα υπερέβαινε τις επιθυμητές θερμοκρασίες τότε ο θερμοστάτης άνοιγε το ηλεκτρικό κύκλωμα με αποτέλεσμα η παραγωγή και η μεταφορά της θερμότητας να σταματά.

3.5. Περιγραφή της καλλιέργειας

3.5.1. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Χρησιμοποιήθηκαν φυτά τομάτας *Lycopersicon esculentum*, var. Lorelay. Το υβρίδιο αυτό είναι τύπου cluster, αυτογονιμοποιούμενο, απεριόριστης ανάπτυξης και ο καρπός του χαρακτηρίζεται από μεγάλη διάρκεια ζωής. Η μεταφύτευση των φυτών στο θερμοκήπιο έγινε στις 2 Φεβρουαρίου 2009, στο στάδιο των πέντε πραγματικών φύλλων και η καλλιέργεια διήρκησε μέχρι τις 4 Ιουνίου 2009.

3.5.2. Διάταξη φυτών

Τα φυτά ήταν τοποθετημένα σε τέσσερις διπλές σειρές, που απείχαν μεταξύ τους 1.5 m. Μεταξύ των διπλών γραμμών υπήρχε διάδρομος με πλάτος 1 m. Οι αποστάσεις φύτευσης επί των απλών γραμμών ήταν 0,33 m, ενώ η απόσταση μεταξύ των γραμμών των διπλών σειρών φύτευσης ήταν 0,75 m. Ο πληθυσμός των φυτών ήταν 2, 1 φυτά/ m².



Εικόνα 3.2. Σχηματική απεικόνιση της διάταξης των φυτών στο θερμοκήπιο.

3.5.3. Επιλογή φυτών – Υποστρώματα

Από το θερμοκήπιο επιλέχθηκαν τυχαία 20 φυτά, φυτεμένα σε υποστρώματα περλίτη, πετροβάμβακα τύπου GRODAN Master και Expert, και ελαφρόπετρα (5 φυτά από το κάθε υπόστρωμα). Η επίδραση του περιθωρίου εξαλείφθηκε με την επιλογή φυτών από τις 2 εσωτερικές διπλές σειρές και κάθε πειραματικό φυτό έφερε ατομικό καρτελάκι με αύξοντα αριθμό. Όλα τα υποστρώματα εκτός της ελαφρόπετρας ήταν τοποθετημένα σε σάκους μήκους 1 m. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 102 σάκοι, οι οποίοι είχαν τοποθετηθεί πάνω σε πάγκους, ύψους 0,5 πάνω από το έδαφος. Για την υποβοήθηση της στράγγισης οι πάγκοι είχαν 1-2% κλίση. Η ελαφρόπετρα ήταν τοποθετημένη σε γλάστρες διαμέτρου 20 cm, που βρίσκονταν πάνω σε πάγκους και σε κάθε γλάστρα είχε τοποθετηθεί ένα φυτό. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 37 γλάστρες.

Ελαφρόπετρα

Η ελαφρόπετρα που χρησιμοποιήθηκε είχε διάμετρο κόκκων 5 - 10 mm. Το pH της ελαφρόπετρας είναι σχεδόν ουδέτερο, η ηλεκτρική της αγωγιμότητα είναι χαμηλή και χαρακτηρίζεται από πορώδη δομή.



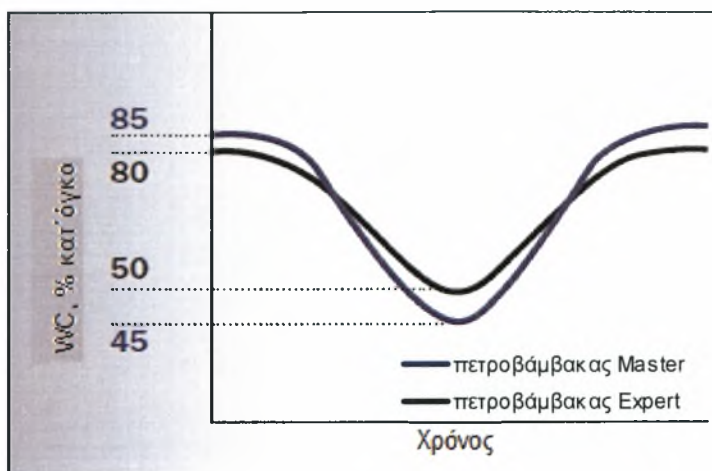
Εικόνα 3.3. Καλλιέργεια σε υπόστρωμα ελαφρόπετρας.

Πετροβάμβακας



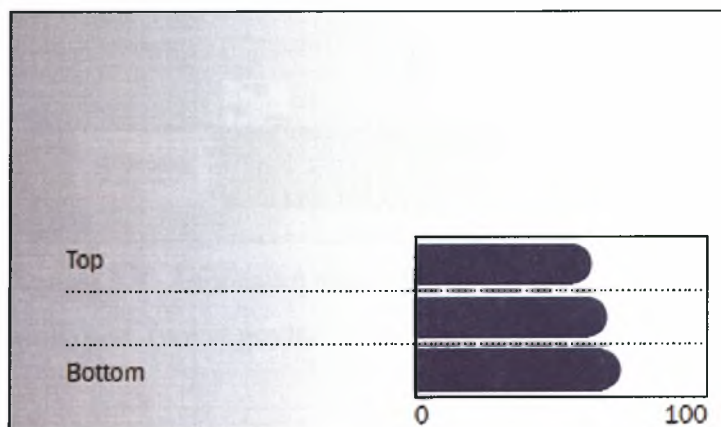
Εικόνα 3.4. Πλάκα πετροβάμβακα.

Τα υποστρώματα του πετροβάμβακα είχαν την μορφή πλάκας. Οι πλάκες του πετροβάμβακα αποτελούνται από υδρόφιλες ίνες που απορροφούν νερό. Το pH του πετροβάμβακα είναι περίπου 7 και παρουσιάζει πολύ χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Οι πόροι καταλαμβάνουν το 87-96% του όγκου του και έχει βάρος 52-75 κιλά ανά m^3 . Οι δύο τύποι πετροβάμβακα διέφεραν ως προς την κατανομή του νερού στα διάφορα στρώματα της πλάκας (ανώτερο, μεσαίο, κατώτερο), στο εύρος ελέγχου του περιεχόμενου νερού και στο εύρος ελέγχου της ηλεκτρικής τους αγωγιμότητας. Στον πετροβάμβακα τύπου Expert ο έλεγχος του περιεχόμενου νερού έχει εύρος 50 με 80% ενώ στον πετροβάμβακα τύπου Master το αντίστοιχο εύρος κυμαίνεται μεταξύ 45 με 85%. (Σχήμα 3.1.) (www.grodan.com).

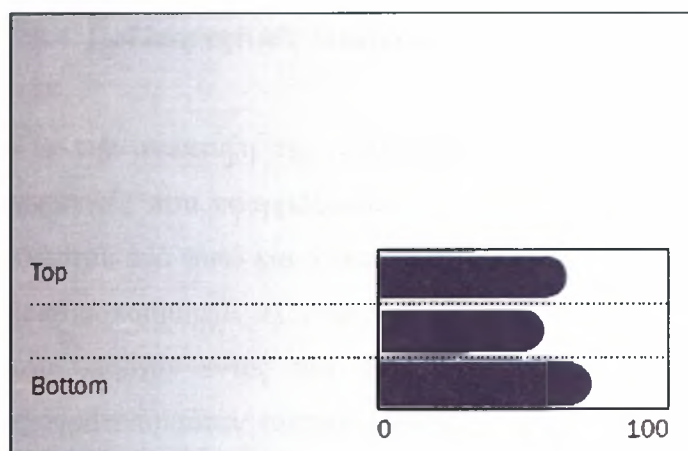


Σχήμα 3.1. Το εύρος του περιεχόμενου νερού στον πετροβάμβακα τύπου Master και Expert. (www.grodan.com)

Επιπλέον η διαφορετική κατανομή του νερού στα διάφορα στρώματα της πλάκας στον Master και Expert φαίνεται στα Σχήματα 3.2. και 3.3. Στο υπόστρωμα τύπου Expert διαπιστώνεται ότι από το ανώτερο προς το κατώτερο στρώμα της πλάκας η κατανομή του νερού αυξάνεται βαθμιαία ενώ στο υπόστρωμα τύπου Master η κατανομή του νερού είναι μικρότερη στο μεσαίο στρώμα της πλάκας και μεγαλύτερη στο τελευταίο στρώμα.

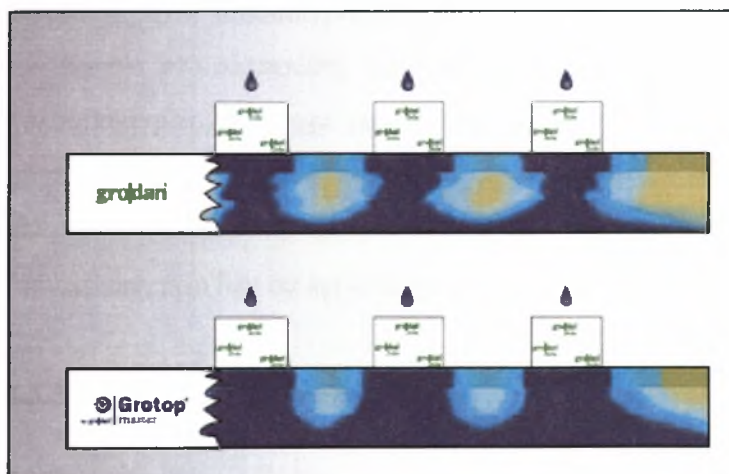


Σχήμα 3.2. Η κατανομή του νερού στα στρώματα της πλάκας του Expert. (www.grodan.com)



Σχήμα 3.3. Η κατανομή του νερού στα στρώματα της πλάκας του Master. (www.grodan.com)

Τέλος ο πετροβάμβακας τύπου Master είχε μεγαλύτερη ικανότητα αναπλήρωσης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC από αυτήν του τύπου Expert. (Σχήμα 3.4.)



Σχήμα 3.4. Αποδοτική αναπλήρωση της EC στο υπόστρωμα του Master σε σχέση με το Expert. (www.grodan.com)

Περλίτης

Ο περλίτης είχε διάμετρο κόκκων 1,5 - 3 mm. Το pH του περλίτη είναι 7,0 - 7,5 και δεν έχει σημαντική ρυθμιστική ούτε και εναλλακτική ικανότητα ιόντων. Έχει υψηλό πορώδες 65 - 82% και το βάρος του είναι 94 - 128 κιλά ανά m³.

3.5.4. Καλλιεργητικές επεμβάσεις

Για την ανάπτυξη της καλλιέργειας ακολουθήθηκαν οι συνήθεις καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται στα εμπορικά θερμοκήπια, δηλαδή διατήρηση ενός βλαστού ανά φυτό και 5 καρποί σε κάθε ταξικαρπία. Για την υποστήριξη των φυτών χρησιμοποιήθηκαν πλαστικοί σπάγκοι, οι οποίοι ήταν δεμένοι σε οριζόντια σύρματα που υπήρχαν εντός του θερμοκηπίου. Καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος πραγματοποιούνταν τακτική αφαίρεση των πλάγιων βλαστών, χειρωνακτικά. Επίσης μετά την συγκομιδή των καρπών κάθε ταξικαρπίας αφαιρούνταν τα υποκείμενα φύλλα (αποφύλλωση). Αυτό συνέβαλλε στη μείωση της υγρασίας στα κατώτερα μέρη των φυτών (δηλαδή προαγόταν ο αερισμός) και συνεπώς στην αποφυγή ανάπτυξης ασθενειών, στην αύξηση της ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας και στην ταχύτερη ωρίμανση των καρπών. Για την καλύτερη γονιμοποίηση των ανθέων είχαν τοποθετηθεί μία κυψέλη με έντομα του γένους *Bombus terrestris*. Για τον έλεγχο εντόμων, είχαν τοποθετηθεί στο θερμοκήπιο παγίδες κόλλας κίτρινου χρώματος για τον έλεγχο του αλευρώδη, της λυριόμυζας και της αφίδας και μπλε για τον θρίπα. Τέλος πραγματοποιήθηκε κορυφολόγημα των φυτών πριν την όγδοη (1,5 μήνα πριν το τέλος της συγκομιδής) ταξιανθία, προκειμένου να ωριμάσουν γρηγορότερα οι ήδη υπάρχοντες, στα φυτά, καρποί και για να σταματήσει η παραγωγή νέων φύλλων και ταξιανθιών, που δεν θα προλάβαιναν να ωριμάσουν.

3.5.5. Άρδευση - Λίπανση

Η παροχή του νερού και του λιπάσματος γινόταν με το σύστημα της στάγδην άρδευσης. Οι σωληνώσεις που οδηγούσαν το θρεπτικό διάλυμα από τις δεξαμενές στους σταλάκτες και από εκεί στα φυτά ήταν κατασκευασμένες από PVC. Οι σταλάκτες ήταν τύπου στενής οπής, με παροχή 1 L/ h και σε κάθε φυτό είχε τοποθετηθεί ένας σταλάκτης. Η δόση και η διάρκεια της άρδευσης και η ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος ελέγχονταν αυτόματα με το πρόγραμμα Management and Control for Quality in Greenhouse (MACQU). Εφαρμόστηκε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα με το οποίο το απορρέον θρεπτικό διάλυμα δεν επαναχρησιμοποιείται. Η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος πραγματοποιούνταν με τη χρήση ενός H/Y με κατάλληλο λογισμικό (MACQU), μιας σειράς δοσομετρικών αντλιών, ενός pHμέτρου, ενός αγωγιμομέτρου και τριών δεξαμενών. Το pH του θρεπτικού

διαλύματος ήταν 5,6 και η τιμή της ηλεκτρικής του αγωγιμότητας (EC) ανερχόταν στα 2,1 dSm⁻¹. Η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος φαίνεται στον Πίνακα 3.2. Η άρδευση βασιζόταν στην ηλιακή ακτινοβολία και πραγματοποιούνταν όταν η διαπνοή των φυτών ξεπερνούσε τα 120 ml για την περίπτωση της ελαφρόπετρας, τα 150 ml για τον περλίτη και τα 240 και 180 ml για τον πετροβάμβακα τύπου Expert και τύπου Master αντίστοιχα. Ο ρυθμός απορροής dr διατηρούνταν στο 35% περίπου. Η ποσότητα νερού που εφαρμοζόταν υπολογίστηκε από την παρακάτω σχέση :

$$E = TR / (1 - dr)$$

Όπου :

$E \rightarrow$ το σύνολο του νερού που εφαρμοζόταν (Kg/m²) και

$TR \rightarrow$ η διαπνοή της καλλιέργειας (kg/m²*s)

Η διαπνοή (TR) υπολογίστηκε από τον τύπο $TR = A * R_{G_0}$ όπου R_{G_0} η ενέργεια από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (Kj/m²*s) και $A = K_c * \tau * \alpha / \lambda$ όπου K_c ο καλλιεργητικός συντελεστής, τ ο συντελεστής διαπερατότητας του καλύμματος του θερμοκηπίου, α ο συντελεστής εξάτμισης και λ η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης σε J/ kg.

Πίνακας 3.2. Η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος που εφαρμοζόταν στα φυτά.

Στοιχείο	ppm
K ⁺	280
Mg ²⁺	46
SO ₄ ⁼	40
PO ₄ ⁼	40
Ca ⁺²	164
NO ₃ ⁻	233

3.6. Περιγραφή μετρήσεων – μεταχειρίσεων

Κατά την διεκπεραίωση του πειράματος θεωρήθηκε σκόπιμο να καταγραφούν οι κλιματικές και βιολογικές μετρήσεις που επηρεάζουν την αύξηση, την ανάπτυξη και την απόδοση της καλλιέργειας.

3.6.1. Κλιματικές Μετρήσεις

3.6.1.1. Μετρήσεις εξωτερικού περιβάλλοντος

Στο εξωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου καταγράφονταν :

- Η θερμοκρασία (T_o , $^{\circ}\text{C}$) καθώς και η υγρασία του αέρα (D_o , kPa) με αισθητήρα θερμοκρασίας – υγρασίας (τύπου HD9009TR Hygrotransmitter, Delta OHM S.r.L., Padova, Italia). Το ψυχρόμετρο υπολόγιζε το έλλειμμα κορεσμού του αέρα από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του υγρού και του ξηρού θερμομέτρου.
- Η ηλιακή ακτινοβολία (R_{Go} , W m^{-2}) με πυρανόμετρο (τύπου Middleton EP08-E, Brunswick, Victoria, Australia).

3.6.1.2. Μετρήσεις εσωτερικού περιβάλλοντος

Στο εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου καταγράφονταν :

- Η θερμοκρασία (T_o , $^{\circ}\text{C}$) και η υγρασία του αέρα (D_o , kPa), όπως και στο εξωτερικό περιβάλλον.
- Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία πάνω και κάτω από την καλλιέργεια (R_{Go} , W m^{-2}) με πυρανόμετρο, όπως και στο εξωτερικό περιβάλλον.
- Η υγρασία των υποστρωμάτων με αισθητήρα υγρασίας (τύπου ECH2O, Decagon Devices, Pullman WA.).

Για την συλλογή, την αρχική επεξεργασία και την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων (ZENO-3200, Coastal Environmental Systems, Inc., Seattle, WA). Όλες οι μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε 30 δευτερόλεπτα και καταγράφονταν η μέση τιμή τους κάθε 10 λεπτά.

3.6.2. Βιολογικές Μετρήσεις

3.6.2.1. Μετρήσεις αύξησης και ανάπτυξης

Οι μετρήσεις αύξησης και ανάπτυξης πραγματοποιούνταν κάθε 15 περίπου ημέρες, τις εξής ημερομηνίες :

25/2/2009

11/3/2009

20/3/2009

10/4/2009

29/4/2009

20/5/2009

4/6/2009

Για τις μετρήσεις των μορφολογικών χαρακτηριστικών των φυτών χρησιμοποιήθηκε εύκαμπτη, πλαστική μετροταινία, με ακρίβεια μέτρησης $\pm 0,5$ cm. Κατά την διάρκεια των μετρήσεων δινόταν ιδιαίτερη έμφαση στο να περιορίζεται όσο το δυνατόν λιγότερο η επαφή με τα φυτά, γιατί θα επηρεαζόταν η αύξηση και η ανάπτυξή τους. Σε κάθε μέτρηση καταγράφονταν :

- Ύψος στελέχους
- Αριθμός φύλλων
- Μήκος και πλάτος φύλλων
- Αριθμός ταξιανθιών
- Αριθμός ανθέων ανά ταξιανθία
- Αριθμός καρπών ανά ταξιανθία

3.6.2.2. Τρόποι υπολογισμού των παραμέτρων αύξησης και ανάπτυξης

Ύψος στελέχους

Η μέτρηση πραγματοποιούνταν από τη βάση μέχρι την κορυφή του φυτού, στο σημείο εμφάνισης του πρώτου φύλλου με μήκος μικρότερο από 5cm περίπου.

Αριθμός φύλλων

Μετρήθηκε ο συνολικός αριθμός των φύλλων ανά φυτό.

Μήκος και πλάτος φύλλων

Η μέτρηση του μήκους του φύλλου γινόταν από τη βάση του μίσχου ως την άκρη του ελάσματος, ενώ η μέτρηση του πλάτους γινόταν από τη μια άκρη του ελάσματος της μεγαλύτερης απόστασης ως την άλλη άκρη, κάθετα προς το μήκος του φύλλου. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η μέση φυλλική επιφάνεια ανά φυτό από τον τύπο:

$$LA = 0,32 * L * W, \text{ (Κατσούπα, 2010)}$$

Όπου :

$L \rightarrow$ το μήκος των φύλλων σε cm

$W \rightarrow$ το πλάτος των φύλλων σε cm και

$LA \rightarrow$ η φυλλική επιφάνεια ανά φύλλο.

Για τον υπολογισμό της φυλλικής επιφάνειας των φυτών γινόταν άθροισμα της επιφάνειας όλων των φύλλων του φυτού.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας. Για τον υπολογισμό του δείκτη φυλλικής επιφάνειας πολλαπλασιάστηκε η φυλλική επιφάνεια ανά φυτό με την πυκνότητα των φυτών που στην περίπτωση μας ισούται με 2,1.

Αριθμός ταξιανθιών

Η μέτρηση αφορούσε τις ταξιανθίες που είχαν μήκος μεγαλύτερο από 1cm και μετρήθηκε ο συνολικός αριθμός τους ανά φυτό.

Αριθμός ανθέων ανά ταξιανθία

Μετρήθηκε ο αριθμός των ανθέων ανά ταξιανθία και υπολογίστηκε το άθροισμα των ανθέων ανά φυτό.

Αριθμός καρπών ανά φυτό

Μετρήθηκε ο συνολικός αριθμός ώριμων και μη καρπών ανά φυτό και υπολογίστηκε το άθροισμα των καρπών ανά φυτό.

Αριθμός κόμβων

Ο αριθμός των κόμβων προέκυψε από το άθροισμα των φύλλων και των ταξιανθιών του κάθε φυτού.

Μήκος μεσογονάτιων διαστημάτων

Το μήκος των μεσογονάτιων διαστημάτων προέκυψε από το λόγο του μήκους του στελέχους προς τον αριθμό των κόμβων.

3.6.2.3. Μετρήσεις απόδοσης

Στις 8/5/2009 άρχισε η συγκομιδή καρπών, κατά την οποία καταγράφονταν :

- Ο αριθμός και
- Το βάρος των καρπών

Ο αριθμός των καρπών

Μετρήθηκε ο συνολικός αριθμός των συγκομισθέντων ώριμων καρπών ανά φυτό.

Το βάρος των καρπών

Οι ώριμοι καρποί συγκομίστηκαν και ζυγίστηκαν με την βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας. Μετά την ζύγιση των συγκομισθέντων καρπών υπολογίστηκαν :

- Η μέση παραγωγή ανά φυτό
- Ο αριθμός καρπών ανά m²

3.7. Περιγραφή της επεξεργασίας

Για την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο SPSS 15.0. Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με την μέθοδο ανάλυσης παραλλακτικότητας (One Way Anova) και το εργαλείο ανάλυσης Repeated measures. Σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων όρων των μεταχειρίσεων καθορίστηκαν με το κριτήριο ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Μικροκλίμα του θερμοκηπίου

Στη συνέχεια παρατίθενται τα στοιχεία των κλιματικών μετρήσεων (μέση υγρασία, θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία) του θερμοκηπίου, κατά τη διεξαγωγή του πειράματος. Όπως φαίνεται και από τους Πίνακες 4.1. και 4.2. η μέση υγρασία από το Φεβρουάριο μέχρι και τον Ιούνιο κυμαινόταν μεταξύ 43 και 65 % περίπου κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ τη νύχτα μεταξύ 60 και 100 %. Ο μήνας με τη μικρότερη μέση υγρασία τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα είναι ο Φεβρουάριος ενώ η μεγαλύτερη μέση υγρασία ημέρας και νύχτας συναντάτε τον Απρίλιο. Γενικότερα η μέση υγρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας ήταν υψηλότερη σε σχέση με την ημερήσια. Στα Σχήματα 4.1. και 4.2. φαίνεται η διακύμανση της υγρασίας τις περιόδους 2-5 Μαρτίου και 28-31 Μαΐου αντιστοίχως. Όπως φαίνεται η υγρασία στις τέσσερις αυτές ημέρες του Μαρτίου φθάνει μέχρι και τα 89 %, ενώ τις ημέρες του Μαΐου φθάνει το 100% περίπου.

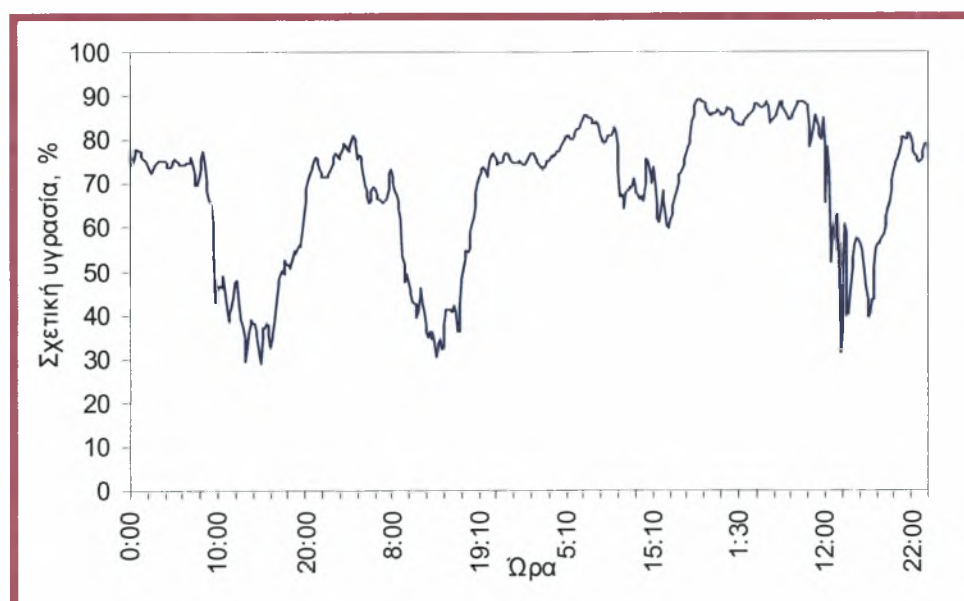
Πίνακας 4.1. Μέση σχετική υγρασία ημέρας, τους μήνες του πειράματος.

Μέση υγρασία ημέρας (%)	
Φεβρουάριος	42,62
Μάρτιος	56,39
Απρίλιος	65,24
Μάιος	54,78
Ιούνιος	56,40

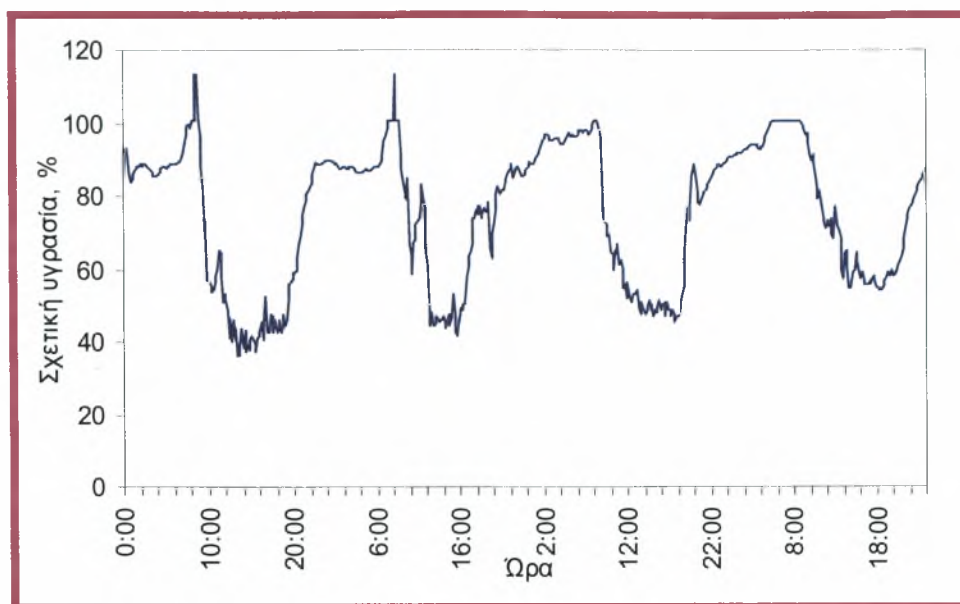
Πίνακας 4.2. Μέση σχετική υγρασία νύχτας, τους μήνες του πειράματος.

Μέση υγρασία νύχτας (%)	
Φεβρουάριος	60,89
Μάρτιος	73,84
Απρίλιος	108,08
Μάιος	80,95
Ιούνιος	78,12

Σημείωση : Οι τιμές της μέσης υγρασίας που ξεπερνούν το 100 οφείλονται σε σφάλμα του οργάνου.



Σχήμα 4.1. Η εξέλιξη της σχετικής υγρασίας τη περίοδο 4-5 Μαρτίου.



Σχήμα 4.2. Η εξέλιξη της σχετικής υγρασίας τη περίοδο 28 - 31 Μαΐου.

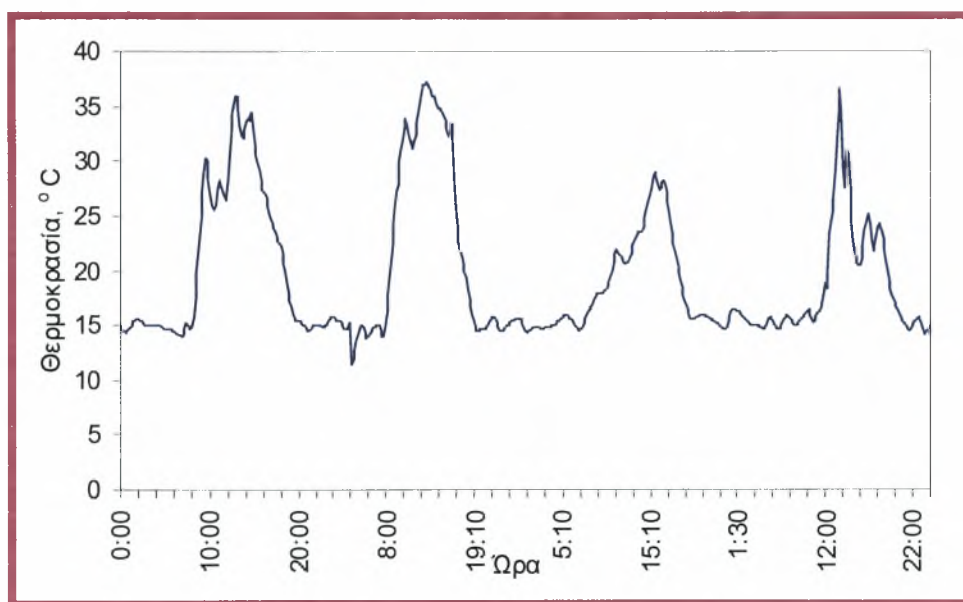
Κατά τη διάρκεια του πειράματος η μέση μηνιαία ημερήσια θερμοκρασία κυμαινόταν μεταξύ 20 και 30 °C περίπου ενώ η αντίστοιχη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας βρισκόταν μεταξύ 14,2 και 21,9 °C. Η μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας ήταν υψηλότερη από τη μέση θερμοκρασία κατά τη νύχτα. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία παρατηρήθηκε τον Ιούνιο τόσο κατά την ημέρα όσο και κατά τη νύχτα, ενώ η ελάχιστη μέση θερμοκρασία το Φεβρουάριο, όπως φαίνεται και στους Πίνακες 4.3. και 4.4. Επιπλέον τα Σχήματα 4.3. και 4.4. παρουσιάζουν τη διακύμανση της θερμοκρασίας στις 2-5 Μαρτίου και στις 28-31 Μαΐου αντιστοίχως. Όπως φαίνεται η θερμοκρασία των ημερών του Μαρτίου φθάνει τους 36,9 °C, και τη περίοδο του Μαΐου φθάνει τους 37,8 °C.

Πίνακας 4.3. Μέση θερμοκρασία ημέρας, τους μήνες του πειράματος.

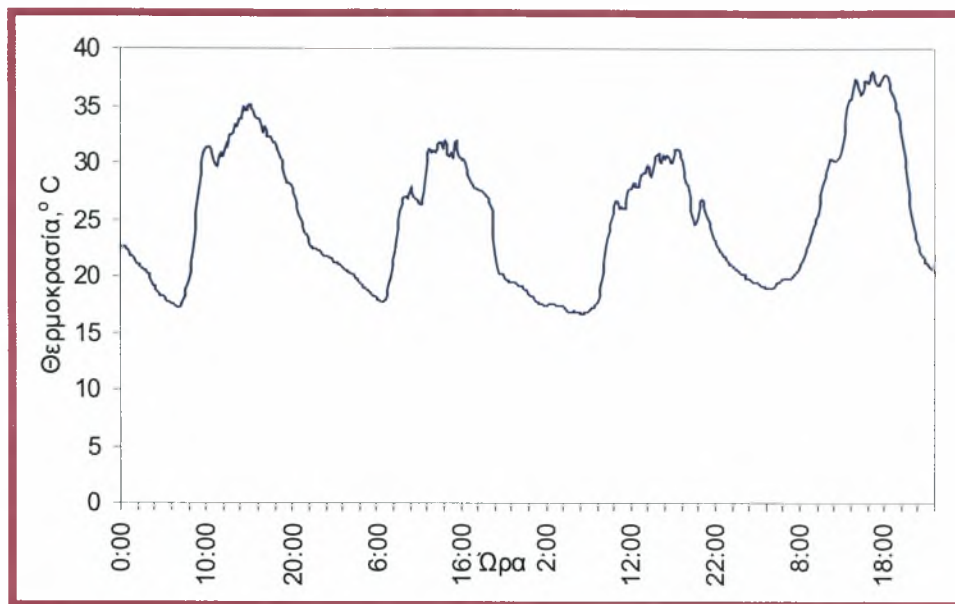
Μέση θερμοκρασία ημέρας (°C)	
Φεβρουάριος	20,31
Μάρτιος	23,21
Απρίλιος	24,15
Μάιος	29,26
Ιούνιος	29,95

Πίνακας 4.4. Μέση θερμοκρασία νύχτας, τους μήνες του πειράματος.

Μέση θερμοκρασία νύχτας ($^{\circ}\text{C}$)	
Φεβρουάριος	14,17
Μάρτιος	14,66
Απρίλιος	15,90
Μάιος	20,26
Ιούνιος	21,86



Σχήμα 4.3. Η εξέλιξη της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου τη περίοδο 4-5 Μαρτίου.

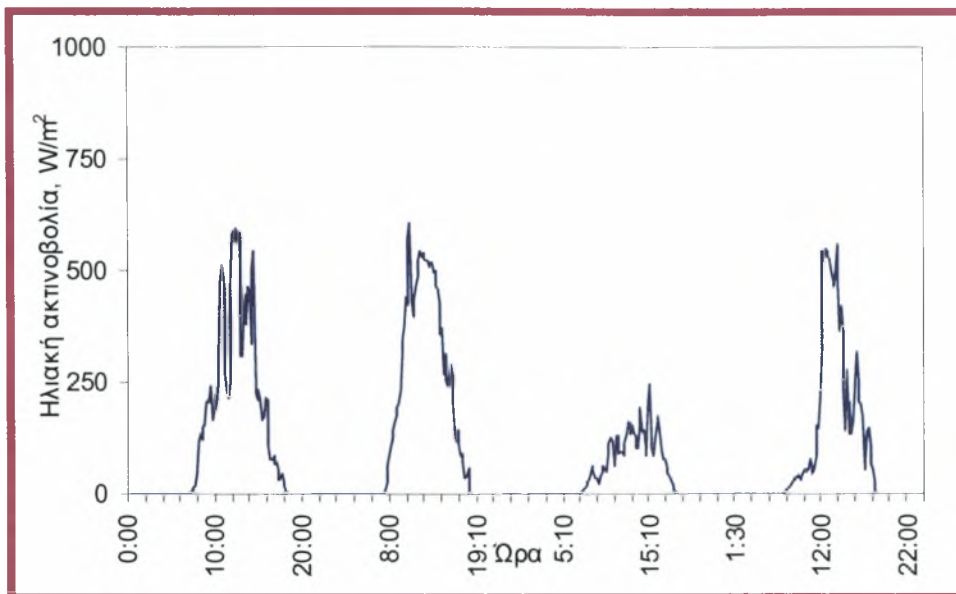


Σχήμα 4.4. Η εξέλιξη της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου τη περίοδο 28 - 31 Μαΐου.

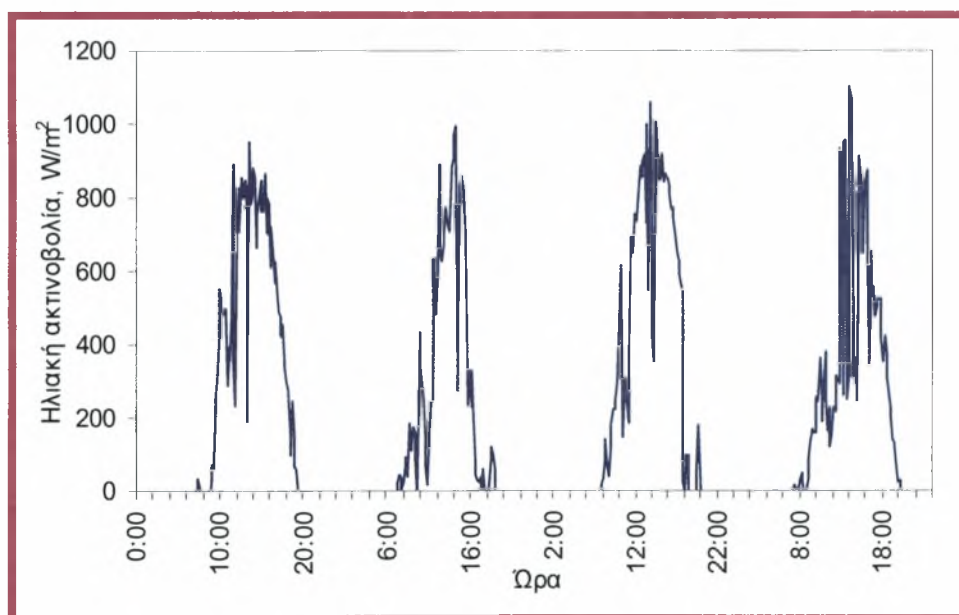
Τέλος η μέση ηλιακή ακτινοβολία κατά τους μήνες διεκπεραίωσης του πειράματος έφθασε τη μέγιστη τιμή τον Ιούνιο ενώ το Μάρτιο την ελάχιστη (Πίνακας 4.5.). Στα Σχήματα 4.5. και 4.6. φαίνεται η διακύμανση της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας μεταξύ 2-5 Μαρτίου και μεταξύ 28-31 Μαΐου αντιστοίχως. Όπως φαίνεται η ηλιακή ακτινοβολία στις τέσσερις αυτές ημέρες του Μαρτίου φθάνει μέχρι και τα 605,5 W/m², ενώ στα τέλη του Μαΐου η ηλιακή ακτινοβολία φθάνει περίπου τα 1100 W/m².

Πίνακας 4.5. Μέση ηλιακή ακτινοβολία, τους μήνες του πειράματος.

Μέση ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²)	
Φεβρουάριος	259,40
Μάρτιος	172,48
Απρίλιος	285,23
Μάιος	425,68
Ιούνιος	456,89



Σχήμα 4.5. Η εξέλιξη της ηλιακής ακτινοβολίας τη περίοδο 2 - 5 Μαρτίου.



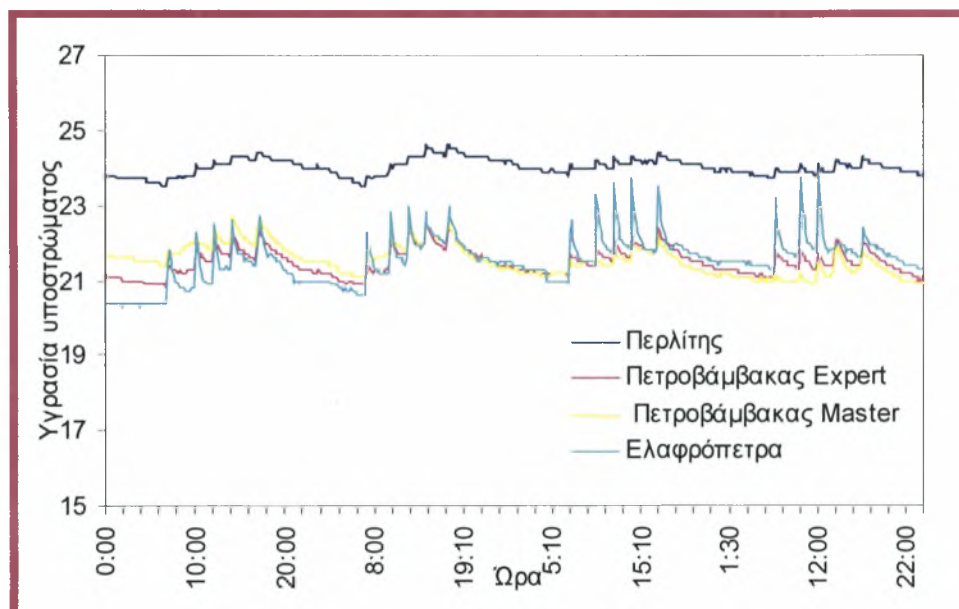
Σχήμα 4.6. Η εξέλιξη της ηλιακής ακτινοβολίας τη περίοδο 28 - 31 Μαΐου.

4.2. Μετρήσεις υγρασίας των υποστρωμάτων

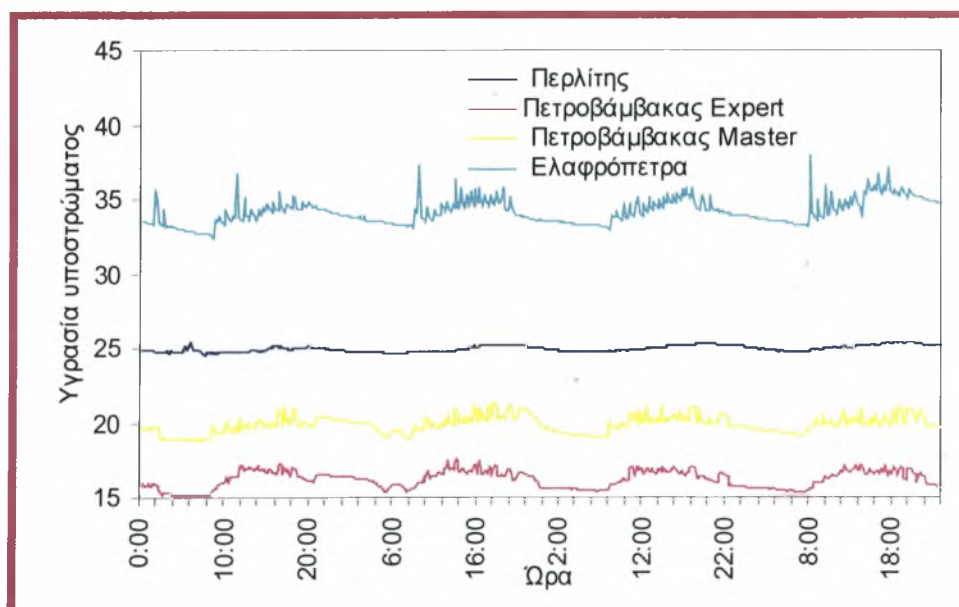
Η περιεχόμενη υγρασία των διαφορετικών υποστρωμάτων φαίνεται στα Σχήματα 4.7. και 4.8. για τις περιόδους 2 - 5 Μαρτίου και 21 - 24 Μαΐου αντίστοιχα. Για τη περίοδο 2 - 5 Μαρτίου τις περισσότερες δόσεις άρδευσης αλλά και εφαρμογή μεγαλύτερης ποσότητας νερού φαίνεται να είχε η ελαφρόπετρα, ενώ για το περλίτη δεν είναι ευκρινείς οι δόσεις άρδευσης. Παρόλα αυτά φαίνεται ότι τη μεγαλύτερη

υγρασία έχει ο περλίτης με μέγιστη τιμή 24,5%. Στους δύο τύπους πετροβάμβακα οι δόσεις άρδευσης αλλά και η περιεχόμενη υγρασία είναι παρόμοιες.

Για τη περίοδο 21 - 24 Μαΐου τη μεγαλύτερη περιεχόμενη υγρασία έχει η ελαφρόπετρα (38%) και τη λιγότερη το Expert (17,5 % περίπου). Είναι όμως γνωστό ότι η ελαφρόπετρα είναι από τα υποστρώματα που δεν συγκρατεί υγρασία και οι μετρήσεις ίσως οφείλονται σε λάθος του αισθητήρα.



Σχήμα 4.7. Η υγρασία των υποστρωμάτων τη περίοδο 2 - 5 Μαρτίου.

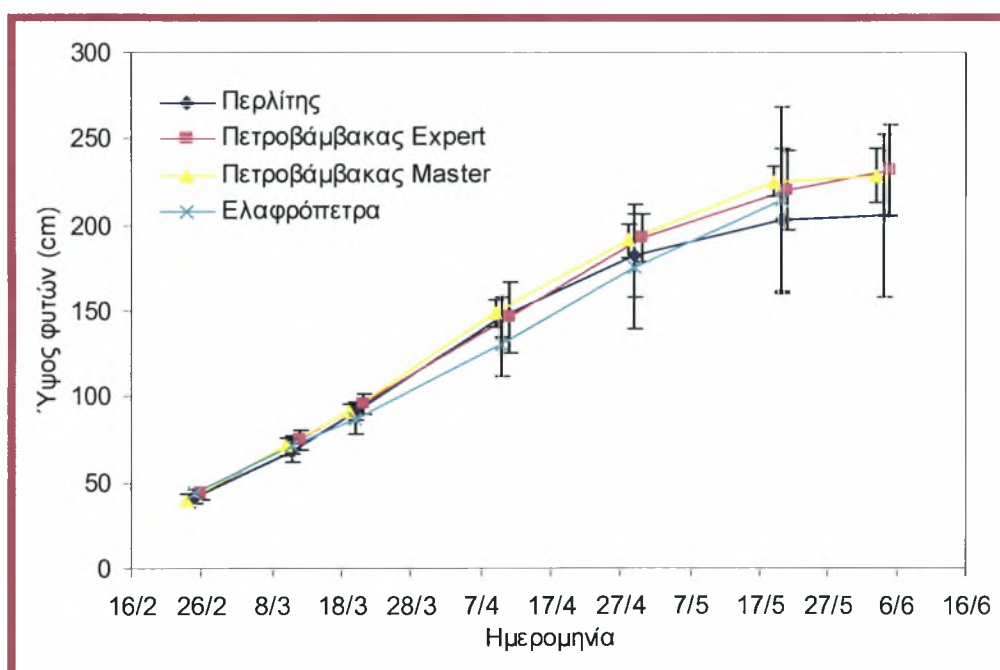


Σχήμα 4.8. Η υγρασία των υποστρωμάτων τη περίοδο 21 - 24 Μαΐου.

4.3. Μετρήσεις ανάπτυξης των φυτών τομάτας

4.3.1. Ύψος φυτών τομάτας

Η ανάπτυξη των φυτών τομάτας φαίνεται στο Σχήμα 4.9. Από την στατιστική ανάλυση που έγινε για να βρεθεί η ύπαρξη διαφορών βρέθηκε ότι η τιμή της σημαντικότητας ήταν 0,65. Γνωρίζουμε ότι για να υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά θα πρέπει η σημαντικότητα να είναι μικρότερη από 0,05. Επομένως όσον αφορά το ύψος των φυτών δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, μεταξύ των τεσσάρων διαφορετικών υποστρώματων.

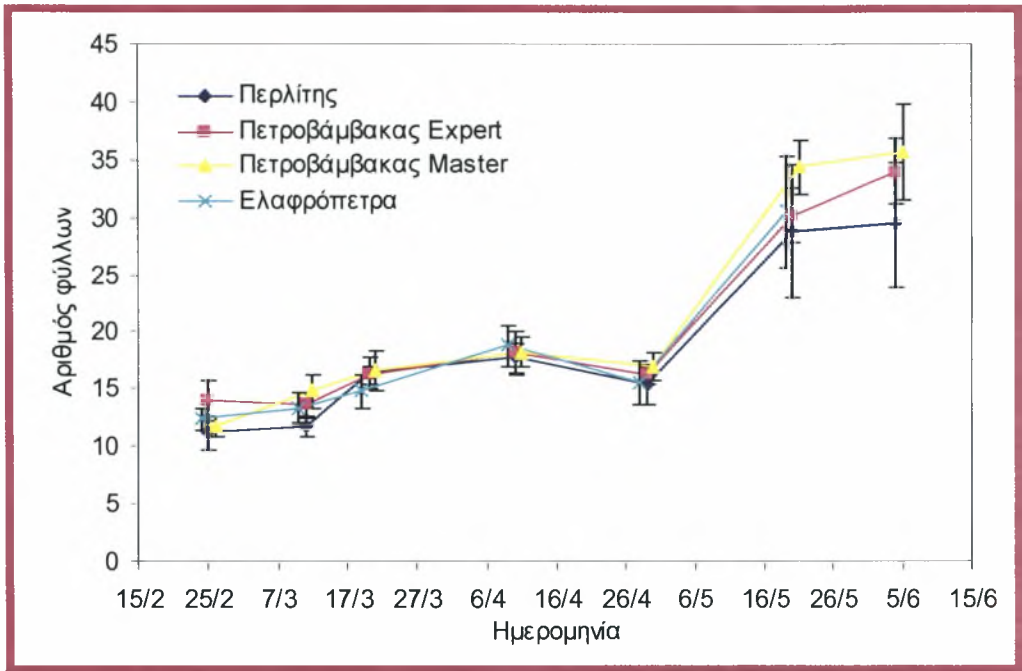


Σχήμα 4.9. Πορεία του ύψους των φυτών κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου στα διάφορα υποστρώματα.

4.3.2. Συνολικός αριθμός φύλλων

Η εξέλιξη του αριθμού των φύλλων των φυτών τομάτας φαίνεται στο Σχήμα 4.10. Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε αποδεικνύει ότι παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά, μεταξύ του περγλίτη και του πετροβάμβακα τύπου Master, με σημαντικότητα 0,021. Το πρώτο έδωσε το μικρότερο αριθμό φύλλων ενώ

το δεύτερο έδωσε τα φυτά με το μεγαλύτερο αριθμό φύλλων. Μεταξύ των υπόλοιπων υποστρωμάτων δεν παρατηρούνται στατιστικώς σημαντικές διαφορές. (Σχήμα 4.11.).



Σχήμα 4.10. Εξέλιξη του αριθμού των φύλλων των φυτών κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου στα διάφορα υποστρώματα.

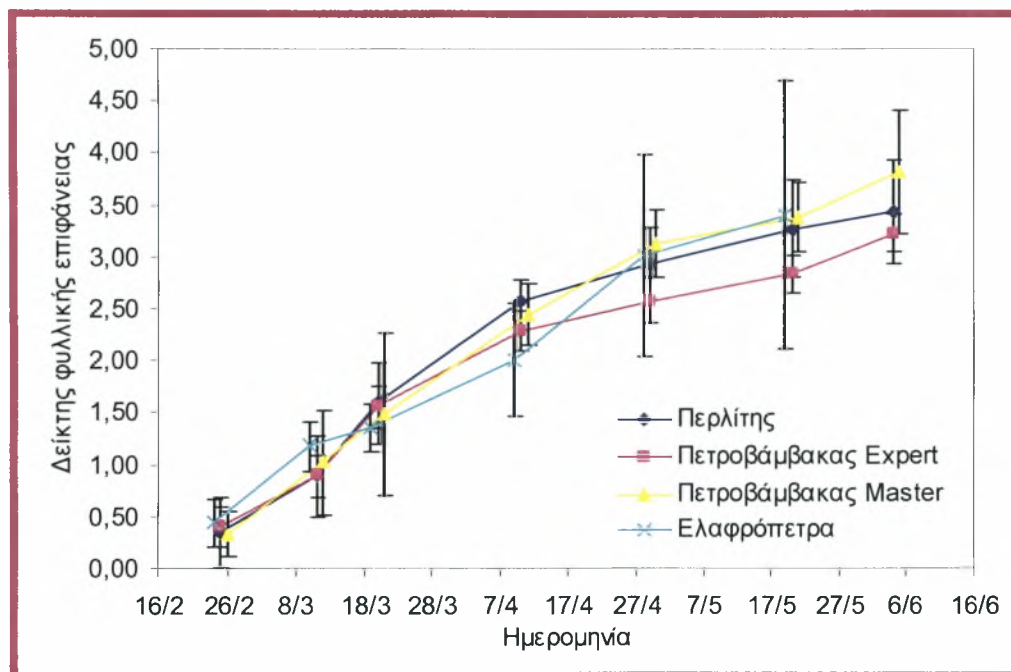
Multiple Comparisons							
Measure: MEASURE_1							
		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
(I) Substrate	(J) Substrate				Lower Bound	Upper Bound	
LSD	1	2	-1,66	,907	,086	-3,58	,27
		3	-2,31*	,907	,021	-4,24	-,39
		4	-,71	,907	,443	-2,64	1,21
	2	1	1,66	,907	,086	-,27	3,58
		3	-,66	,907	,479	-2,58	1,27
		4	,94	,907	,314	-,98	2,87
	3	1	2,31*	,907	,021	,39	4,24
		2	,66	,907	,479	-1,27	2,58
		4	1,60	,907	,097	-,32	3,52
	4	1	,71	,907	,443	-1,21	2,64
		2	-,94	,907	,314	-2,87	,98
		3	-1,60	,907	,097	-3,52	,32

Based on observed means.
*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Σχήμα 4.11. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τον αριθμό των φύλλων των φυτών στα διάφορα υποστρώματα. Όπου 1 : περλίτης, 2 : πετροβάμβακας τύπου Expert, 3 : πετροβάμβακας τύπου Master και 4 : ελαφρόπετρα.

4.3.3. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας

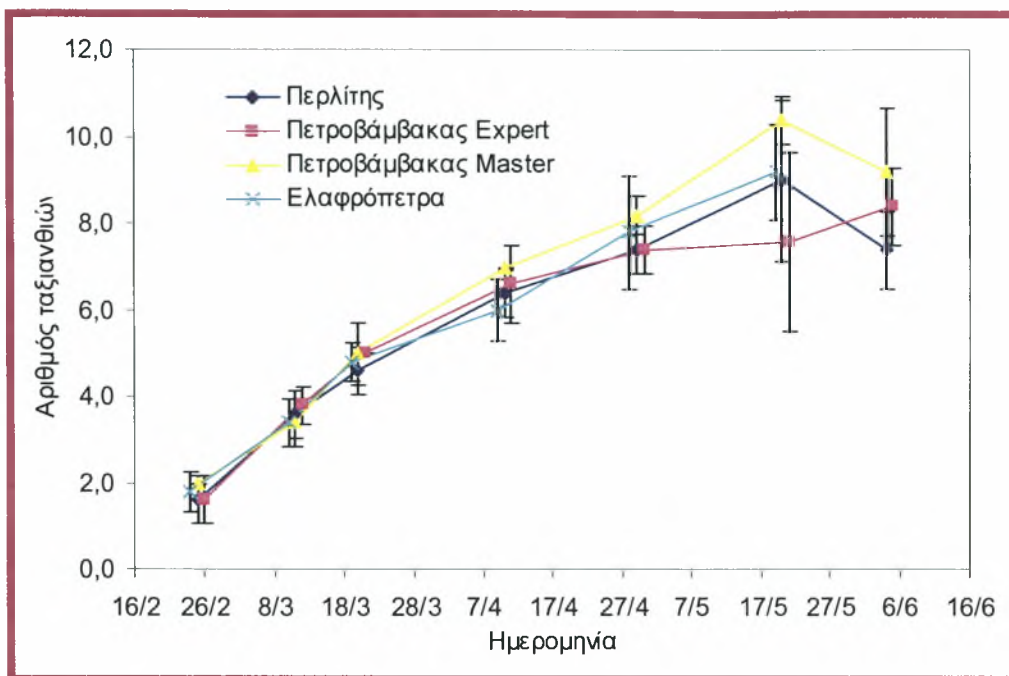
Στο Σχήμα 4.12. παρουσιάζεται η εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των φυτών τομάτας. Από στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προκύπτει πως δεν υπήρχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των υποστρώματων όσον αφορά το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, καθώς η τιμή της σημαντικότητας ήταν 0,794.



Σχήμα 4.12. Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των φυτών κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου στα διάφορα υποστρώματα.

4.3.4. Αριθμός ταξιανθιών

Στο Σχήμα 4.13. παρουσιάζεται η εξέλιξη του αριθμού των ταξιανθιών των φυτών τομάτας. Με βάση την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά του αριθμού των ταξιανθιών μεταξύ του πετροβάμβακα τύπου Master και του περλίτη, καθώς η σημαντικότητα βρέθηκε ότι είναι ίση με 0,043. Τα φυτά στο Master εμφανίζουν τον μεγαλύτερο αριθμό ταξιανθιών ενώ τα φυτά του περλίτη τον μικρότερο αριθμό ταξιανθιών. Όσον αφορά τα υπόλοιπα υποστρώματα δεν παρουσιάστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. (Σχήμα 4.14.).



Σχήμα 4.13. Εξέλιξη του αριθμού των ταξιανθιών κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου στα διάφορα υποστρώματα.

Multiple Comparisons

Measure: MEASURE_1

	(I) Substrate	(J) Substrate	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	1	2	-.06	.337	.868	-.77	.66
		3	-.74*	.337	.043	-1.46	-.03
		4	-.31	.337	.365	-1.03	.40
	2	1	.06	.337	.868	-.66	.77
		3	-.69	.337	.059	-1.40	.03
		4	-.26	.337	.457	-.97	.46
	3	1	.74*	.337	.043	.03	1.46
		2	.69	.337	.059	-.03	1.40
		4	.43	.337	.222	-.29	1.14
	4	1	.31	.337	.365	-.40	1.03
		2	.26	.337	.457	-.46	.97
		3	-.43	.337	.222	-1.14	.29

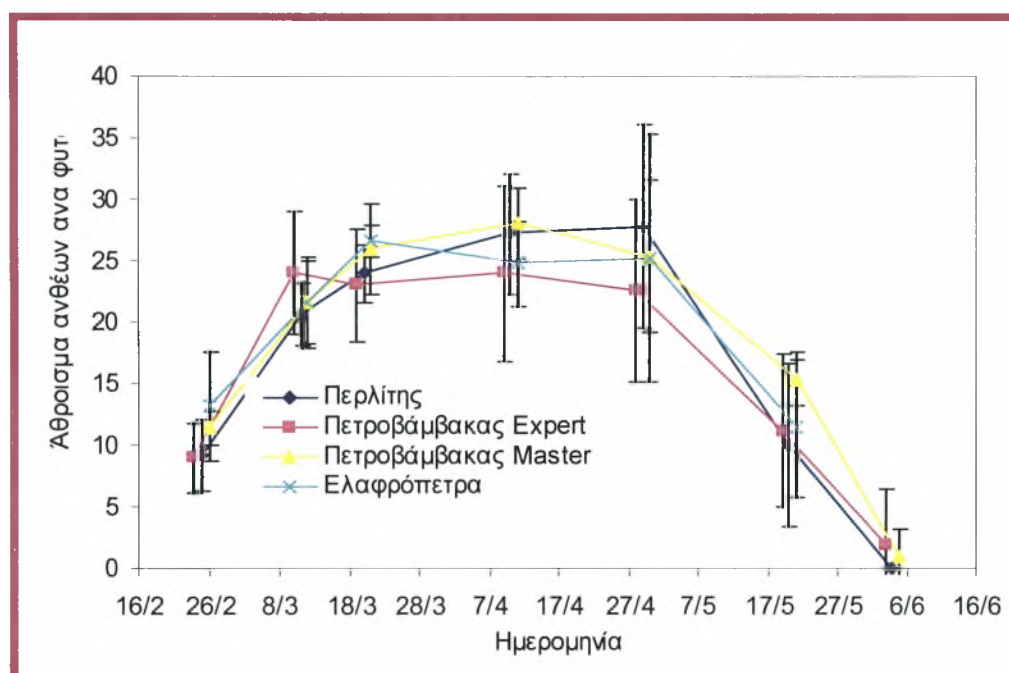
Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Σχήμα 4.14. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τον αριθμό των ταξιανθιών των φυτών στα διάφορα υποστρώματα. Όπου 1 : περλίτης, 2 : πετροβάμβακας τύπου Expert, 3 : πετροβάμβακας τύπου Master και 4 : ελαφρόπετρα.

4.3.5. Αθροισμα ανθέων ανά φυτό

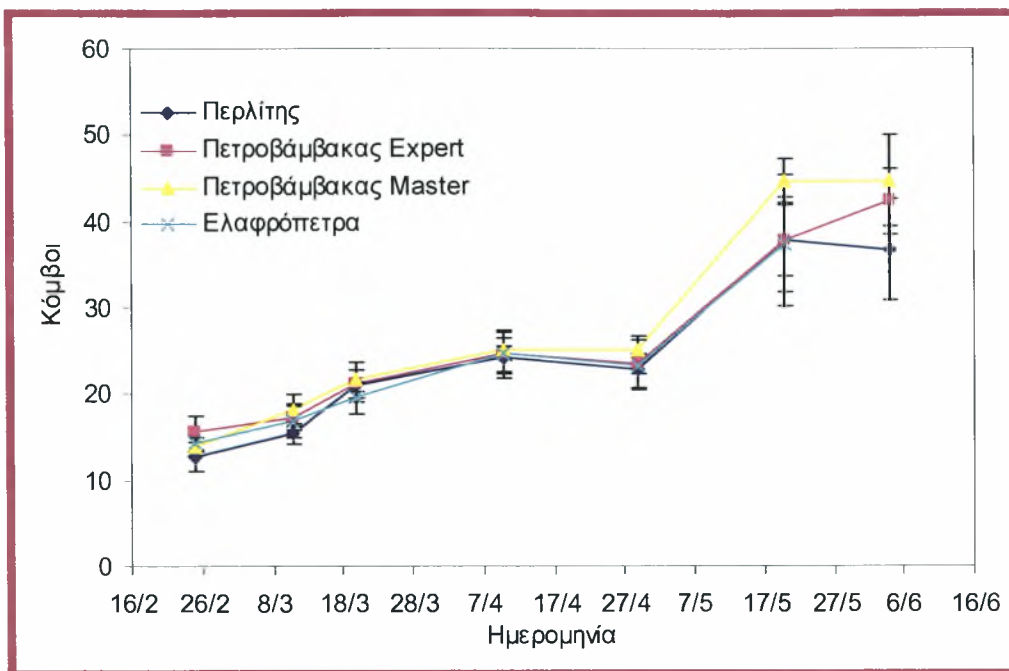
Η εξέλιξη του αριθμού των ανθέων των φυτών φαίνεται στο Σχήμα 4.15. Μεταξύ των τεσσάρων υποστρωμάτων δεν παρουσιάστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές καθώς η τιμή της σημαντικότητας ήταν 0,638. Παρόλα αυτά φαίνεται πως τον μεγαλύτερο αριθμό ανθέων έφεραν τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο πετροβάμβακα τύπου Master ενώ τον μικρότερο τα φυτά του τύπου Expert.



Σχήμα 4.15. Εξέλιξη του αριθμού των ανθέων των φυτών κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου στα διάφορα υποστρώματα.

4.3.6. Αριθμός κόμβων

Η εξέλιξη του αριθμού των κόμβων των φυτών τομάτας φαίνεται στο Σχήμα 4.16. Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε αποδεικνύει ότι παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ του περλίτη και του πετροβάμβακα τύπου Master, με σημαντικότητα 0,017 (Σχήμα 4.17.). Το πρώτο έδωσε το μικρότερο αριθμό κόμβων φύλλων ενώ το δεύτερο έδωσε το μεγαλύτερο αριθμό κόμβων. Μεταξύ των υπόλοιπων υποστρωμάτων δεν παρατηρούνται στατιστικώς σημαντικές διαφορές.



Σχήμα 4.16. Εξέλιξη του αριθμού των κόμβων των φυτών κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου στα διάφορα υποστρώματα.

Multiple Comparisons

Measure: MEASURE_1

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
(I) Substrate	(J) Substrate				Lower Bound	Upper Bound	
LSD	1	2	-1,71	1,221	,179	-4,30	,87
		3	-3,26*	1,221	,017	-5,85	-,67
		4	-1,03	1,221	,412	-3,62	1,56
	2	1	1,71	1,221	,179	-,87	4,30
		3	-1,54	1,221	,225	-4,13	1,05
		4	,69	1,221	,582	-1,90	3,27
	3	1	3,26*	1,221	,017	,67	5,85
		2	1,54	1,221	,225	-1,05	4,13
		4	2,23	1,221	,087	-,36	4,82
	4	1	1,03	1,221	,412	-1,56	3,62
		2	-,69	1,221	,582	-3,27	1,90
		3	-2,23	1,221	,087	-4,82	,36

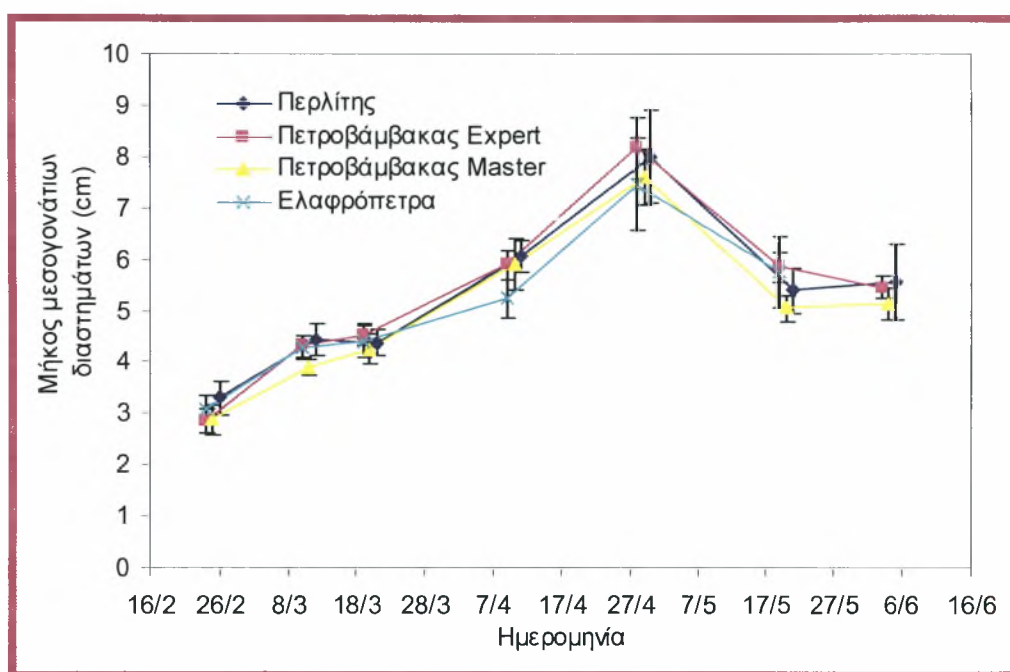
Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Σχήμα 4.17. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τον αριθμό των κόμβων των φυτών στα διάφορα υποστρώματα. Όπου 1 : περλίτης, 2 : πετροβάμβακας τύπου Expert, 3 : πετροβάμβακας τύπου Master και 4 : ελαφρόπετρα.

4.3.7. Μήκος μεσογονάτιων διαστημάτων

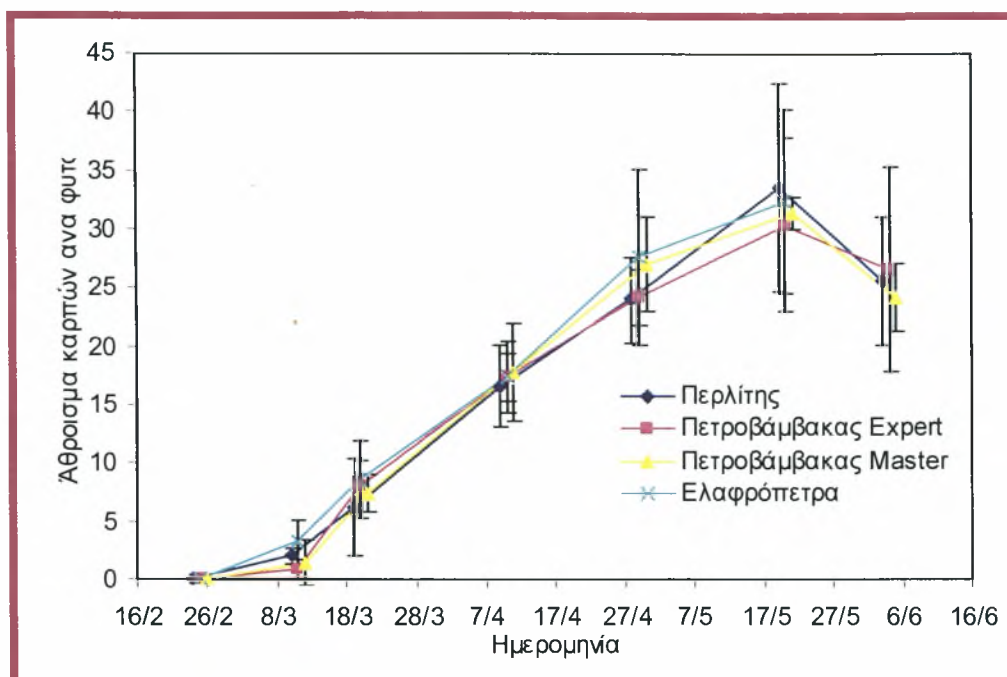
Κατά την διεξαγωγή του πειράματος με βάση στατιστική ανάλυση που εφαρμόστηκε, δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των τεσσάρων υποστρωμάτων όσον αφορά την εξέλιξη του μήκους των μεσογονάτιων διαστημάτων των φυτών, καθώς η τιμή της σημαντικότητας ήταν 0,181. Στο Σχήμα 4.18. φαίνεται η εξέλιξη του μήκους των μεσογονάτιων διαστημάτων των φυτών τομάτας.



Σχήμα 4.18. Εξέλιξη του μήκους των μεσογονάτιων διαστημάτων κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου στα διάφορα υποστρώματα.

4.3.8. Άθροισμα καρπών ανά φυτό

Στο Σχήμα 4.19. απεικονίζεται η εξέλιξη του αριθμού των καρπών των φυτών τομάτας. Με βάση την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των τεσσάρων υποστρωμάτων καθώς η τιμή της σημαντικότητας βρέθηκε πως ήταν 0,330.

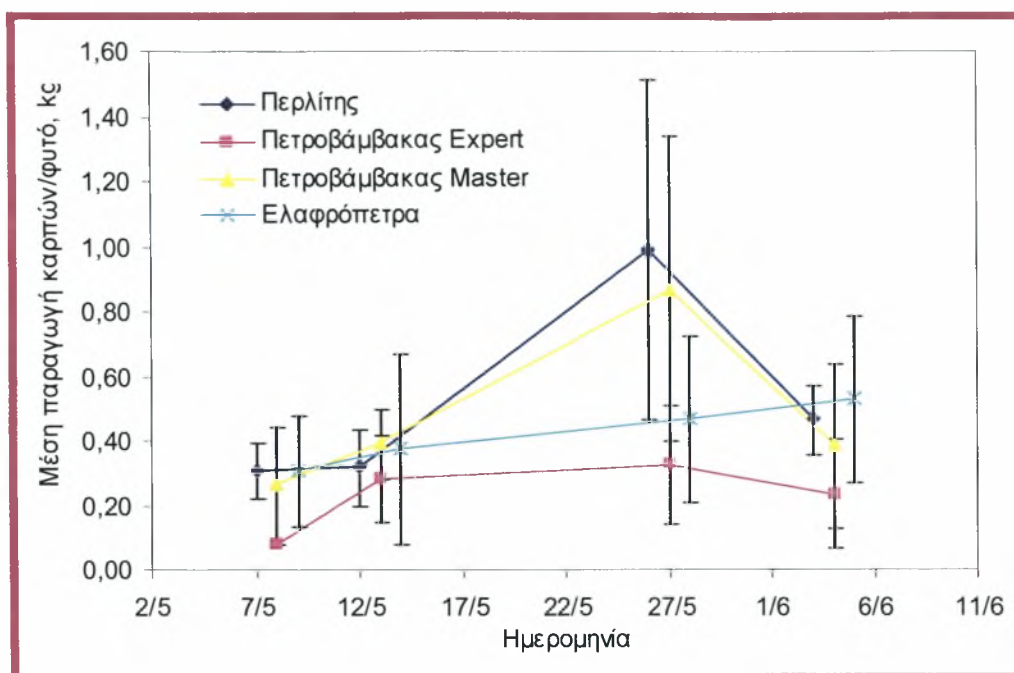


Σχήμα 4.19. Εξέλιξη του αριθμού των καρπών των φυτών κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου στα διάφορα υποστρώματα.

4.4. Μετρήσεις απόδοσης

4.4.1. Μέση παραγωγή ανά φυτό

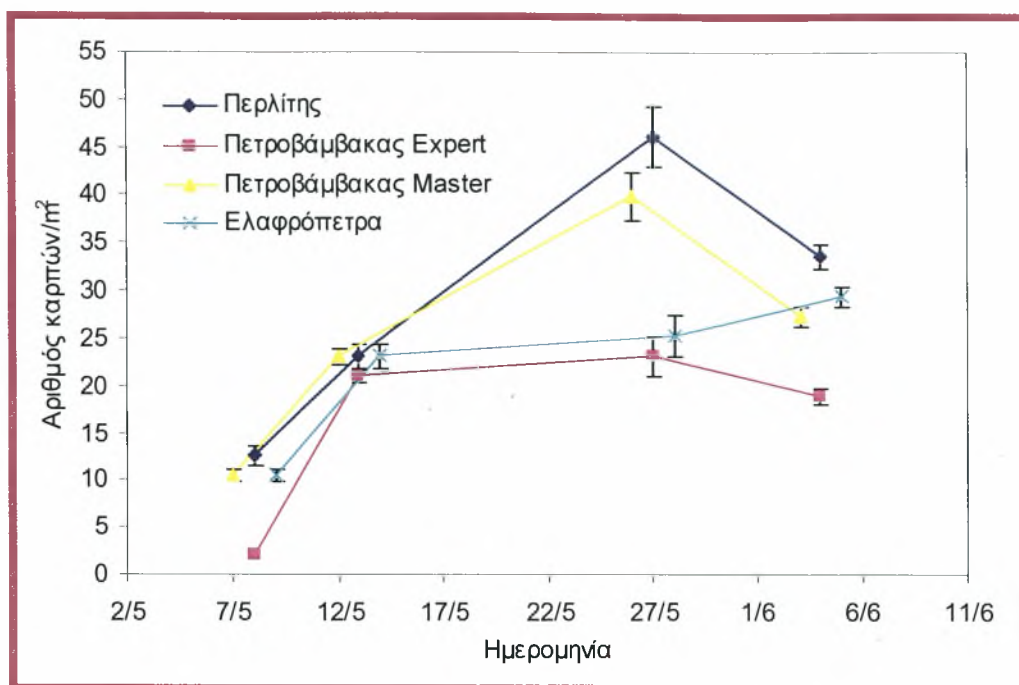
Στο Σχήμα 4.20. απεικονίζεται η μέση παραγωγή καρπών ανά φυτό. Όπως φαίνεται από το σχήμα το υπόστρωμα που έδωσε την μεγαλύτερη μέση παραγωγή είναι ο περλίτης ενώ ο πετροβάμβακας τύπου Expert έδωσε την μικρότερη παραγωγή. Παρόλα αυτά με βάση την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των τεσσάρων υποστρωμάτων καθώς η τιμή της σημαντικότητας ήταν 0,277.



Σχήμα 4.20. Εξέλιξη της μέσης παραγωγής των καρπών κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου στα διάφορα υποστρώματα.

4.4.2. Αριθμός των καρπών/m²

Τέλος στο Σχήμα 4.21. παρουσιάζεται ο αριθμός καρπών που αντιστοιχεί σε κάθε m² του θερμοκηπίου. Από το σχήμα φαίνεται πως ο περλίτης έδωσε τον μεγαλύτερο αριθμό καρπών ανά m² και ο πετροβάμβακας τύπου Expert τον μικρότερο αριθμό καρπών. Με βάση όμως την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τεσσάρων υποστρωμάτων καθώς η τιμή της σημαντικότητας ήταν 0,362.



Σχήμα 4.21. Αριθμός των καρπών/μ² του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου στα διάφορα υποστρώματα.

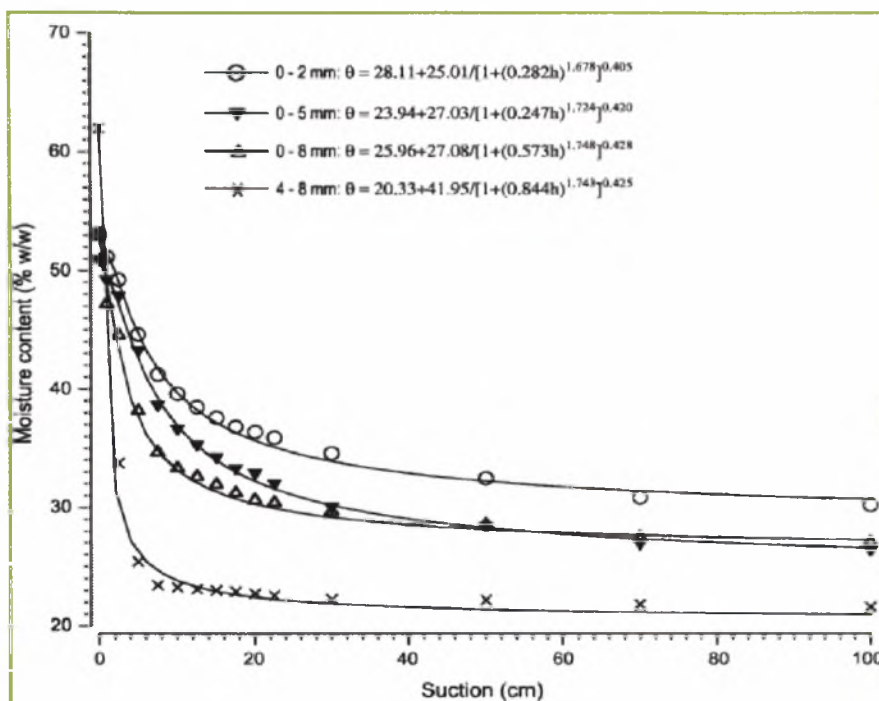
ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. Επίδραση των υποστρώματων στην διαθεσιμότητα του νερού

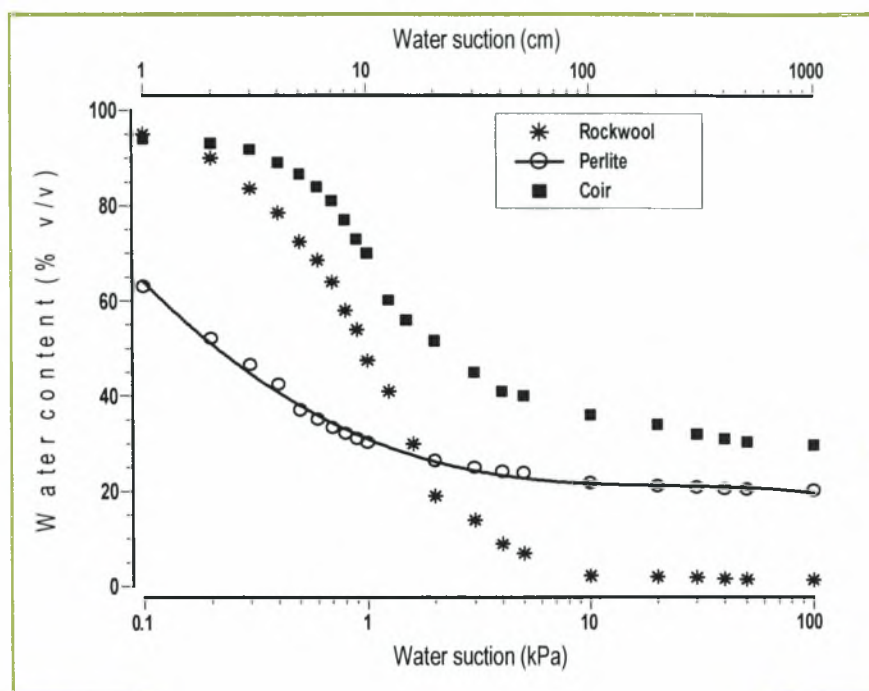
Η άρδευση πραγματοποιούταν στα τέσσερα υποστρώματα στις απαραίτητες για την καλλιέργεια ποσότητες. Συνεπώς όσον αφορά την κατανάλωση νερού στα υποστρώματα δεν είχαμε διαφορές. Η ανομοιογένεια της υγρασίας στα διάφορα υποστρώματα είναι ο μοναδικός παράγοντας ο οποίος δύναται να προκαλέσει διαφορές μεταξύ των υποστρώματων και συνεπώς στην αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αποτελέσματα που αφορούν την περιεχόμενη υγρασία των υποστρώματων και τα οποία αναφέρονται σε μία ενδεικτική χρονική στιγμή (5 Μαρτίου 2009). Στην ελαφρόπετρα, από το Σχήμα 4.7. φάνηκε ότι το μέγιστο και το ελάχιστο όσον αφορά την περιεχόμενη υγρασία ήταν 23,8 % και 21,6 % αντίστοιχα. Από το ίδιο σχήμα προκύπτει η περιεχόμενη υγρασία για τα άλλα τρία υποστρώματα. Έτσι για τον περλίτη η μέγιστη υγρασία έφτασε το 24,2 % και η ελάχιστη το 23,7 % . Στο πετροβάμβακα τύπου Master η μέγιστη περιεχόμενη υγρασία έφτασε το 21,8 % και η ελάχιστη το 20,9% ενώ στο πετροβάμβακα τύπου Expert η υγρασία έφθασε 22% και 21% αντίστοιχα. Για να είναι το νερό που περιέχεται σε ένα υπόστρωμα εύκολα διαθέσιμο για τα φυτά, πρέπει η πίεση συγκράτησης του νερού στο υπόστρωμα να βρίσκεται μεταξύ 1 και 5 kPa. Σύμφωνα με την καμπύλη συγκράτησης νερού για την ελαφρόπετρα (Σχήμα 5.1) και με την χρήση των παραπάνω αντίστοιχων δεδομένων, βρέθηκε ότι το νερό δεν συγκρατούνταν δυνατά από το υπόστρωμα (η πίεση κυμαινόταν μεταξύ 1,06 και 2,57 kPa) και συνεπώς το νερό ήταν εύκολα διαθέσιμο για τα φυτά, τα οποία δεν χρειαζόταν να καταβάλουν μεγάλο έργο για να το αποσπάσουν από το υπόστρωμα.

Το ίδιο βρέθηκε και για τα υπόλοιπα υποστρώματα, καθώς η πίεση συγκράτησης νερού βρέθηκε να κυμαίνεται μεταξύ 2,9 - 4,8 kPa και περίπου 1,7 - 1,9 kPa για το περλίτη και τους τύπους πετροβάμβακα αντίστοιχα, από τις αντίστοιχες καμπύλες συγκράτησης νερού. (Σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.1. Καμπύλη υγρασίας τεσσάρων τύπων ελαφρόπετρας που διαφέρουν στο μέγεθος των κόκκων. Για τον υπολογισμό της μύζησης του νερού από την ελαφρόπετρα που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη με τη διάμετρο κόκκων 4-8 mm. (Gizas & Savvas 2007).



Σχήμα 5.2. Καμπύλη υγρασίας για τον πετροβάμβακα το περλίτη και το κοκοφοίνικα. (Κατσούλας και Κίττας 2009).

Σημείωση : Στο πείραμα η καμπύλη του κοκοφοίνικα δεν χρησιμοποιήθηκε.

5.2. Επίδραση των υποστρωμάτων στην ανάπτυξη και την απόδοση φυτών τομάτας

Παρατηρώντας τα Σχήματα 4.20. και 4.21. φαίνεται ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ των υποστρωμάτων στη μέση παραγωγή συγκομισθέντων καρπών ανά φυτό και στον αριθμό καρπών/μ². Ωστόσο από τη στατιστική ανάλυση δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων. Αυτό πιθανότατα συνέβη επειδή δεν έδωσαν όλα τα φυτά καρπούς σε όλες τις ημερομηνίες συγκομιδής και κατά την καταχώρηση των δεδομένων στο λογισμικό πακέτο χρησιμοποιήθηκε η τιμή 0 όπου υπήρχε έλλειψη καρπών.

Από τις μετρήσεις κατά την ανάπτυξη των φυτών τομάτας, διαφορές δεν βρέθηκαν στο συνολικό ύψος των φυτών, στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας, στο άθροισμα ανθέων ανά φυτό, στο μήκος μεσογονάτιων διαστημάτων και στο άθροισμα καρπών ανά φυτό. Αυτό είναι λογικό καθώς από τις καμπύλες υγρασίας των υποστρωμάτων φάνηκε ότι δεν υπήρχαν διαφορές στην κατανάλωση του νερού και συνεπώς διαφορές δεν θα υπήρχαν ούτε στην ανάπτυξη των φυτών. Επιπλέον σε όλα τα υποστρώματα η

κατάσταση των φυτών ήταν η ίδια (πχ. κανένα φυτό σε κανένα υπόστρωμα δεν εμφάνισε στρες κλπ.)

Όσον αφορά τον αριθμό καρπών παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Δασκαλάκη και Οικονομάκης (2003) μεταξύ ελαφρόπετρας και περλίτη σε αγγούρι. Σε ίδια συμπεράσματα κατέληξαν και οι Gunnlaugsson and Adalsteinsson (1995) όσον αφορά τη μέση παραγωγή μεταξύ ελαφρόπετρας και πετροβάμβακα σε τομάτα, καθώς και οι Δασκαλάκη και Οικονομάκης (2003) μεταξύ ελαφρόπετρας και περλίτη σε αγγούρι. Το ίδιο βρήκαν και οι Parks et al. (2004), μεταξύ πετροβάμβακα και περλίτη σε απόδοση μίνι αγγουριών. Αντιθέτως οι Colla et al. (2003), βρήκαν ότι φυτά αγγουριάς σε ελαφρόπετρα, περλίτη και ίνες καρύδας έδωσαν μεγαλύτερη παραγωγή από τα φυτά στον πετροβάμβακα.

Παρά το γεγονός ότι δεν υπήρχαν διαφορές στην κατανάλωση του νερού μεταξύ των υποστρωμάτων, διαφορές βρέθηκαν στο συνολικό αριθμό φύλλων, στον αριθμό των ταξιανθιών και στον αριθμό των κόμβων των φυτών τομάτας. Η διαφορές αυτές σε όλες τις περιπτώσεις παρατηρήθηκαν μεταξύ του περλίτη και του πετροβάμβακα τύπου Master, με το πρώτο να δίνει τις χαμηλότερες μετρήσεις και το δεύτερο τις υψηλότερες. Η διαφορά στον αριθμό των φύλλων οφειλόταν πιθανώς σε τυχαίους παράγοντες. Έρευνες που να έχουν καταλήξει σε παρόμοια συμπεράσματα δεν βρέθηκαν. Το ίδιο ισχύει και για την διαφορά στον αριθμό των ταξιανθιών καθώς και των κόμβων. Ο αριθμός των κόμβων προκύπτει από το άθροισμα του αριθμού των φύλλων και των ταξιανθιών του κάθε φυτού. Συνεπώς οι διαφορές του αριθμού των κόμβων μεταξύ των δύο υποστρωμάτων επηρεάστηκε από τη στατιστικώς σημαντική διαφορά του συνολικού αριθμού των φύλλων καθώς και από τον αριθμό των ταξιανθιών ανά φυτό στα δύο αυτά υποστρώματα.

Βιβλιογραφία

1. Benton Jones Jr, 2005. Hydroponics, a practical guide for the soilless grower. CRC Press. pp : 4-5, 120, 220.
2. Colla, G., Saccardo, F., Rea, E., Pierandrei, F. and Salerno, A., 2003. Effects of substrates on yield, quality and mineral composition of soilless-grown cucumbers. *Acta Horticulturae*, 614, 205-209.
3. Dobričević, N., Voća, S., Borošić, J. and Novak, B., 2008. Effects of substrate on tomato quality. *Acta Horticulturae*, 779, 485-490.
4. Economakis, C.D., Daskalaki, A. and Bitsaki, A., 1999. Effect of the nutrient solution potassium concentration on tomatoes grown on new or reused pumice. *Acta Horticulturae*, 548, 511-515.
5. Evans, M.R., and Iles J.K., 1997. Growth of *Viburnum dentatum* and *Syringa X prestoniae* 'Donald Wyman' in Sphagnum peat and coir dust-based substrates. *J. Envir. Hort.*, 15, 156-159
6. Fascella, G. and Zizzo, G.V., 2005. Effect of growing media on yield and quality of soilless cultivated rose. *Acta Horticulturae*, 697, 133-138.
7. Gizas G. and Savvas D., 2007. Particle size and Hydraulic properties of pumice affect growth and yield of greenhouse crops in soilless culture. *Hortscience*, 42 (5), 1274 – 1280.
8. Grillas, S., Lucas M., Bardopoulou E., and Sarafopoulos S., 2001. Perlite Based soilless culture systems : current commercial applications and prospects. *Acta Horticulturae*, 548.
9. Gul A., Kidoglu F., and Anac D., 2007. Effect of nutrient sources on cucumber production in different substrates. *Scientia Horticulturae*, 113, 216-220.
10. Gunnlaugsson, B. and Adalsteinsson, S., 1995. Pumice as environment - friendly substrate - a comparison with rockwool. *Acta Horticulturae*, 401, 131-136.
11. Hitchon, G.M., Hall, D.A. and Szmidt, R.A.K., 1991. Hydroponic production of glasshouse tomatoes in Sardinian plaster – grade perlite. *Acta Horticulturae*, 287, 261-266.
12. <http://www.orp.gr>
13. Keith R., 2003. How- to Hydroponics. The Futuregarden Press, N.Y. pp : 1-12.
14. Lieth, J.H., 1996. Irrigation Systems. In : Reed, D.W. (ed) *Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops* Ball Publishing, Batavia, Illinois, USA pp. 1-29.
15. Maloupa, E. and Gerasopoulos, D., 1999. Quality production of four cut gerberas in a hydroponic system of four substrates. *Acta Horticulturae*, 491, 433-438.
16. Manios, V.I., Papadimitriou, M.D. and Kefakis, M.D., 1995. Hydroponic culture of tomato and gerbera in different substrates. *Acta Horticulturae*, 408, 11-15.
17. Meerow, A., 1994. Growth of two subtropical ornamentals using coir as a peat substitute. *Hort. Sci.*, 29, 1484-1486
18. Noland, D.A., Spomer, L.A., and Williams, D.J., 1992. Evaluation of pumice as a perlite substitute for container soil physical amendment. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 23 (13,14), 1533-1547.
19. Olympios, C.M., 1992. Soilless media under protected cultivation. Rockwool, peat, perlite and other substrates. *Acta Horticulturae*, 323, 215-234.
20. Paradiso, R., Raimondi, G. and De Pascale, S., 2003. Growth and yield of rose in a closed soilless system on two inert substrates. *Acta Horticulturae*, 614, 193-198.
21. Parks, S., Newman, S. and Golding, J., 2004. Substrate effects on greenhouse cucumber growth and fruit quality in Australia. *Acta Horticulturae*, 648, 129-133.

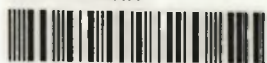
22. Ravin, M., Wallach, R., Silber, A., Krasnovsky, A., 1999. The effects of hydraulic characteristics of volcanic materials of roses grown in soilless culture. J. Am. Soc. Hort. Sci. 124, 205-209.
23. Savvas D., and Passam H., 2002. Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Embryo Publications, Athens. pp : 21, 68-71, 74-77, 80-81, 85, 172.
24. Smith, D.L., 1987. Rockwool in horticulture. Grower book. London.
25. Van Os E. A., 2000. The 15th workshop on Agricultural structures and ACESYS (Automation, Culture, Environment & System) IV Conference, 81-91.
26. www.agrek.gr
27. www.agro-fst.web.auth.gr
28. www.aua.gr/ns/team/sigrimis/Programma%20Volos.doc
29. www.e-geoponoi.gr
30. www.fao.org/ag/
31. www.gardenguide.gr/index.php?...tomata...
32. www.grodan.com
33. www.hydroponicsearch.com
34. www.statistics.gr
35. Αλεξάνδρου Κ., 1999. Η υδροπονία στην πράξη. Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Λευκωσία-Κύπρος.
36. Ανώνυμος, 2007. Η τομάτα και η καλλιέργειά της. Γεωργία – Κτηνοτροφία. 10.
37. Δασκαλάκη Α. και Οικονομάκης Κ.Δ., 2003. Υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς σε ελαφρόπετρα, περλίτη και ζεόλιθο με ή χωρίς ανακύκλωση θρεπτικού διαλύματος. 20^ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρίας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών. 10, 366 – 369.
38. Κατσούλας Ν. και Κίττας Κ., 2009. Παρουσιάσεις του μαθήματος Συστήματα Υδροπονικών Καλλιεργειών. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
39. Κατσουπα, Μ., 2010. Μελέτη της επίδρασης απορροφητικών της υπερϊώδους και ανακλαστικών της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας υλικών κάλυψης, στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη της καλλιέργειας, Μεταπτυχιακή διατριβή.
40. Κίττας Κ., 2002. Υδροπονία και υδροπονικές καλλιέργειες. Σημειώσεις. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος. σελ. : 6-9
41. Κομνακάκος, Ι., 2000. Η καλλιέργεια της τομάτας στο θερμοκήπιο. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα. σελ. : 10-12, 39, 41.
42. Μαυρογιαννόπουλος Γ.Ν., 2005. Θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα. σελ. : 36-37, 44-45, 57-58.
43. Μαυρογιαννόπουλος Γ.Ν., 2006. Υδροπονικές εγκαταστάσεις. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα. σελ. : 16-17, 20-21, 44, 126-128, 130, 134-138, 159-163.
44. Οικονομάκης, Κ.Δ., 1997. Επίδραση της πυκνότητας φύτευσης σε καλλιέργεια τομάτας σε υπόστρωμα ελαφρόπετρας. 18^ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρίας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών.
45. Οικονομάκης, Κ.Δ., 1999. Καλλιέργεια τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη και ελαφρόπετρας διαφορετικής κοκκομετρικής σύστασης (περίληψη). 19^ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρίας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών.
46. Ολύμπιος Χ.Μ., 1990. Η τεχνική της καλλιέργειας της τομάτας στο θερμοκήπιο. Αθήνα. σελ. : 17, 39-40.
47. Ολύμπιος Χ.Μ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα. σελ. : 28-29, 41, 52-56, 97, 99, 102.
48. Σιώμος Α.Σ. Παπαδοπούλου Π.Π, Ντόγρας Κ.Χ., 2001. Απόδοση και ποιότητα τεσσάρων ποικιλιών μαρουλιού που καλλιεργήθηκαν σε κλειστό υδροπονικό

σύστημα με υπόστρωμα ελαφρόπετρα και περλίτη. 20^ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρίας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών. 10, 435-438.

49. Στάμου Ε., Σάββας Δ., Γκίζας Γ., Αντωνίου Α., Καβαφάκης Χ., 2005. Επίδραση της κοκκομετρίας υποστρώματος ελαφρόπετρας και του υποδοχέα της στην παραγωγή αγγουριού και μαρουλιού. 22^ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρίας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών. 71-74.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000105602